

# Proceso de diseño y fabricación de una luminaria por rotomoldeo

Autora: Ángela Alonso Grañena

Director: Enrique Tardío

Especialidad: Diseño Industrial

Convocatoria: Septiembre 2011



**Universidad** Zaragoza



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

## **ÍNDICE**

### **1. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

1.1.	ORIGEN DEL PROYECTO .....	4
1.2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
1.3.	ESTRUCTURA DE LA MENORIA.....	6

### **2. INTRODUCCIÓN AL PROCESO**

2.1.	PRINCIPALES TÉCNICAS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS.....	8-17
2.1.1.	EXTRUSIÓN.....	8
2.1.2.	INYECCIÓN.....	9
2.1.3.	SOPLADO.....	10
2.1.4.	MOLDEO ROTACIONAL.....	13
2.1.5.	MOLDEO POR COMPRESIÓN.....	15
2.1.6.	TERMOCONFORMADO.....	17
2.2.	INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE ROTOMOLDEO.....	19-33
2.2.1.	¿QUÉ ES EL ROTOMOLDEO?.....	19
2.2.2.	ETAPAS DEL ROTOMOLDEO.....	20
2.2.3.	¿CÓMO SON LAS PIEZAS FABRICADAS POR ROTOMOLDEO?.....	21
2.2.4.	VARIABLES DEL ROTOMOLDEO.....	23
2.2.5.	MATERIALES UTILIZADOS EN ROTOMOLDEO.....	23
2.2.6.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ROTOMOLDEO.....	25
2.2.7.	APLICACIONES.....	26
2.2.8.	TIPOS DE MÁQUINAS ROTOMOLDEADORAS.....	29
2.2.9.	TIPOS DE MOLDES.....	33

### **3. CASO REAL DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA LUMINARIA EN LA EMPRESA ROTOFORMAS**

3.1.	FASE DE DISEÑO.....	36-43
3.1.1.	FACTORES DE DISEÑO PARA PIEZAS FABRICADAS POR ROTOMOLDEO.....	38

3.2.	FASE DE FABRICACIÓN.....	44-94
3.2.1.	FABRICACIÓN DEL MOLDE MEDIANTE FUNDICIÓN.....	45
3.2.1.1.	DISEÑO DE LA PREFORMA.....	48
3.2.1.2.	FABRICACIÓN DEL MOLDE MEDIANTE FUNDICIÓN.....	54
3.2.2.	PARTES PRINCIPALES DE UN MOLDE PARA ROTOMOLDEO.....	63
3.2.2.1.	INSERTOS.....	64
3.2.2.2.	VENTILACIÓN DEL MOLDE.....	66
3.2.2.3.	ACABADOS SUPERFICIALES.....	67
3.2.2.4.	ESTRUCTURA SOPORTE.....	68
3.2.2.5.	MECANISMOS DE CIERRE.....	69
3.2.3.	FABRICACIÓN DE LA PIEZA POR ROTOMOLDEO.....	72
3.2.3.1.	MEZCLADO DEL MATERIAL PLÁSTICO.....	72
3.2.3.2.	MEDICIÓN DE LA CARGA DE MATERIAL PLÁSTICO.....	73
3.2.3.3.	CIERRE DEL MOLDE.....	74
3.2.3.4.	MANEJO DE LA TEMPERATURA.....	74
3.2.3.5.	CALENTAMIENTO DEL MOLDE.....	76
3.2.3.6.	VENTILACIÓN DEL MOLDE.....	77
3.2.3.7.	RELACIÓN DE ROTACIONES.....	82
3.2.3.8.	MANTENIMIENTO DEL MOLDE.....	85
3.2.3.9.	DESMOLDEANTES.....	87
3.2.3.10.	ENFRIAMIENTO DEL MOLDE.....	87
3.2.3.11.	FABRICACIÓN DE LA LUMINARIA EN ROTOFORMAS..	88
3.2.4.	MONTAJE FINAL DEL CONJUNTO DE LA LÁMPARA.....	93
4.	CONCLUSIONES.....	95
5.	UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA LUMINARIA POR ROTOMOLDEO.....	96-98
6.	PLANIFICACIÓN.....	99-101
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	102

# 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

## 1.1. ORIGEN DEL PROYECTO

El origen de este proyecto parte de la necesidad de tener que realizar un trabajo donde se plasmen los conocimientos adquiridos durante la carrera para poder obtener el título universitario. Para ello me puse en contacto con el profesor Enrique Tardio ( profesor de Diseño Asistido por Ordenador), y me propuso realizar una unidad didáctica sobre un caso real de fabricación de una luminaria por rotomoldeo. Este tema me pareció interesante para complementar mis estudios de Ingeniería Técnica de Diseño Industrial, ya que durante la carrera hemos aprendido muy bien el método a la hora de diseñar una pieza, pero no hemos vivido ningún caso práctico de fabricación de un objeto, donde se apliquen conocimientos de otras asignaturas como materiales o procesos de fabricación, y donde podamos ver todas las etapas necesarias para la obtención de la pieza.

Además realizar este proyecto me brindaba la oportunidad de tomar contacto con el mundo laboral, ya que suponía la visita a la fabrica ROTOFORMAS S.L, situada en Cadrete (Zaragoza), donde se fabrica la luminaria del diseñador Héctor Alonso. ROTOFORMAS S.L es una empresa que no solo se dedica a fabricar piezas por rotomoldeo, sino que también se encarga de realizar los modelos y los moldes mediante fundición de aluminio o plegado de chapa, de manera que en esta fábrica podía ver todo el proceso completo, es decir, no solo la fabricación por rotomoldeo, sino también las fases previas necesarias para poder obtener la pieza.



También me pareció muy interesante este proyecto porque creo que el proceso de diseño de una pieza no termina cuando tenemos el diseño formal, sino cuando ya tenemos el modelo físico real fabricado, y muchas veces ni entonces porque a posteriori pueden salir fallos o puede que la pieza no funcione bien y haya que rediseñarla, o incluso que con el paso del tiempo se haya quedado desfasada y sea necesario un nuevo diseño. Por lo tanto el proceso de diseño es un proceso complejo, y en la mayoría de los casos cíclico, ya que siempre se tiende a mejorar lo que tenemos.



## 1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO



El objetivo principal de este proyecto es documentar el proceso de diseño y fabricación por rotomoldeo de una pieza para que sirva como unidad didáctica a otras personas que quieran aprender más sobre este proceso y para adquirir personalmente un conocimiento más profundo sobre este tema, ya que lo que pretendo es documentar un caso real y vivir la experiencia de fabricación en una empresa real.

Me parece interesante documentar y poder dar a conocer el proceso de fabricación de rotomoldeo ya que es un proceso del que existe muy poca información, al no estar tan extendido como por ejemplo la inyección. De manera que todas aquellas personas que necesiten alguna vez realizar alguna consulta sobre este tema puedan acudir a esta información y solventar sus dudas.

Para poder cumplir estos dos objetivos principales: la preparación de una unidad didáctica y adquirir la experiencia de un caso real de diseño, se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- ✓ Planificación del proyecto: incluyendo todas las tareas y los tiempos de realización, para poder cumplir los plazos de entrega.
- ✓ Visitar y conocer la empresa donde se fabrican estas luminarias, para tomar contacto con el mundo laboral, y conocer un caso real de diseño y fabricación de un objeto.
- ✓ Una vez conocido el caso específico de fabricación en la empresa, realizar una búsqueda de información técnica sobre los procesos utilizados en rotoformas, y también de otras alternativas existentes, que no se han utilizado para el diseño de la lámpara, pero que es interesante saber para comprender mejor la elección de este proceso y no otro.
- ✓ Documentar toda la información recopilada.
- ✓ Aplicar conocimientos adquiridos durante la carrera, para fomentar aquello que he aprendido y ver su aplicación real.
- ✓ Realizar una unidad didáctica con menús dinámicos, que nos permitan ir de unas pantallas a otras, de manera que nos podamos leer únicamente aquello que nos interesa.

### 1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La finalidad de este proyecto como hemos comentado anteriormente es la creación de una unidad didáctica, para preparar esta unidad didáctica es necesaria una fase previa de documentación y recopilación de información. De manera que una vez recopilada toda la información sea posible preparar la unidad didáctica.

He creído conveniente incluir dos tipos de información diferente:

- Información más general que nos introduce al mundo del rotomoldeo, haciéndoos conocer las diferentes técnicas de transformación y procesado de plásticos , y profundizando un poco más sobre el proceso de rotomoldeo.
- Información más particular sobre el proceso de diseño y fabricación por rotomoldeo aplicado a una luminaria.

Por lo tanto, la memoria se estructura básicamente en tres partes:

#### 1. Introducción del proceso

Esta parte recoge las principales técnicas de transformación y procesado de plásticos, así como una introducción al proceso de rotomoldeo, en la que podemos encontrar toda la información sobre el proceso de rotomoldeo como técnica de fabricación.

#### 2. Documentación sobre el caso real de diseño y fabricación de una luminaria por rotomoldeo.

En esta parte está documentado el proceso de diseño y fabricación por rotomoldeo pero particularizado al caso de una luminaria.

#### 3. Unidad didáctica

La unidad didáctica recoge toda la información recopilada pero de forma resumida, y con un menú dinámico que nos permite acceder de un sitio a otro.



# Introducción al proceso de rotomoldeo

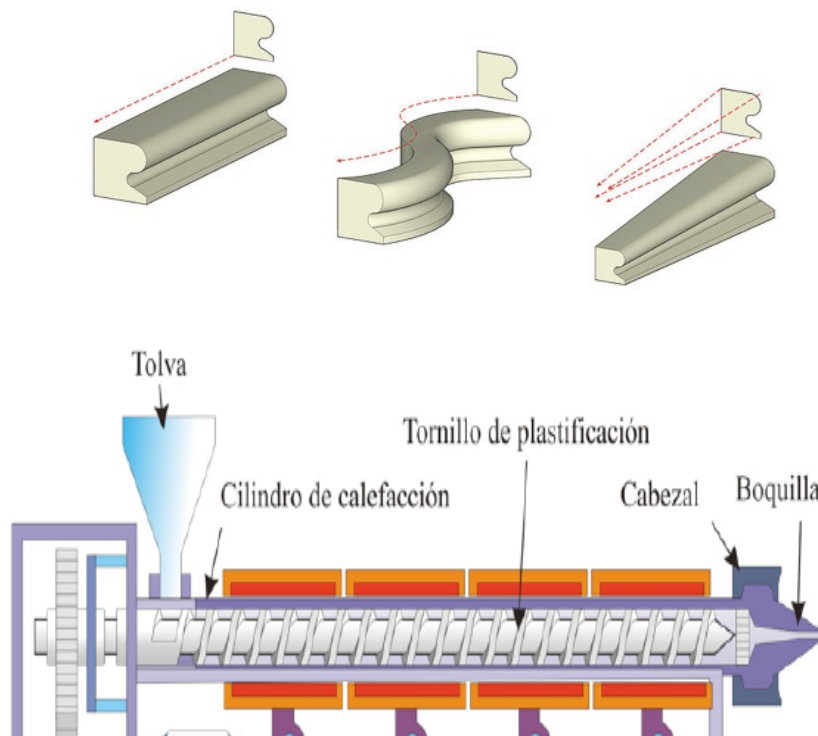
## 2. INTRODUCCIÓN DEL PROCESO

### 2.1.PRINCIPALES TÉCNICAS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

A continuación se explican las diferentes técnicas para la transformación de plásticos, que son: la inyección, extrusión, soplado, moldeo rotacional, compresión y termoconformado. Me parece interesante describirlas brevemente para poder observar mejor las ventajas que nos ofrece el rotomoldeo frente a otros procesos de fabricación.

#### 2.1.1. EXTRUSIÓN

El proceso de extrusión se utiliza ampliamente en la industria de plásticos para la producción en continuo de piezas con sección constante de materiales termoplásticos ( y algunos termoestables). Se utiliza también para el recubrimiento de superficies y en el moldeo por soplado y termoconformado para la obtención de las preformas. Consiste en obligar a un material fundido a pasar a través de una boquilla o matriz que tiene la forma adecuada, para obtener el diseño deseado. El equipo debe de ser capaz de proporcionar sobre el material suficiente presión de una forma continua, uniforme y reblandecer y acondicionar el material de forma que pueda ser extruido. Para ello se requiere de una máquina compuesta de un cilindro y un husillo o torno de plastificación que gira dentro del cilindro, como se muestra en la figura 3.1.



- Máquina convencional de extrusión con husillo -

El material granulado o en forma de polvo se carga en una tolva, desde la cual se alimenta al cilindro, donde el husillo se encarga de introducirlo, transportarlo hacia adelante y comprimirlo. El calentamiento hasta la fusión se realiza desde la cara exterior del cilindro, mediante elementos calefactores y desde el interior por conversión del esfuerzo en calor. De esta forma el material termoplástico funde (se plastifica) y al salir del cilindro a través de una boquilla recibe la forma de esta. En una línea completa de extrusión, además debe existir un sistema de enfriamiento del material que sale de la máquina, así como equipos de tensionado y recogida. El resultado es un perfil.

Los materiales que se pueden extruir comúnmente son: metales (aluminio, cobre, zinc, magnesio, acero, titanio, plomo y estaño), polímeros (termoplásticos y algunos termoestables), cauchos, cerámicas y hormigón.

La extrusión se utiliza sobre todo para la fabricación de perfiles:



- Perfiles metálicos -



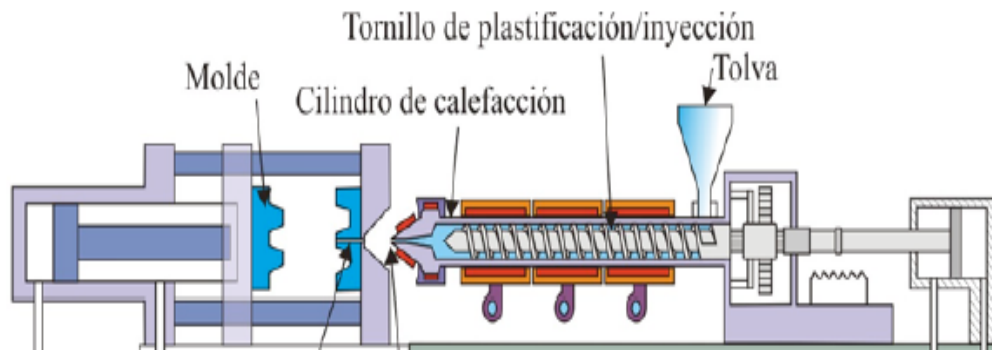
- Perfiles plásticos -



- Perfiles cerámicos -

### 2.1.2. INYECCIÓN

El moldeo por inyección es, quizás el método de moldeo más característico de la industria de plásticos. Consiste básicamente en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde donde se enfría a una temperatura apta para que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse. En el moldeo por inyección son de gran importancia las características de los polímeros tales como peso molecular y distribución, configuración química y morfología, cristalinidad, estabilidad, etc. El comportamiento reológico de los materiales es fundamental en el moldeo por inyección; puede darse el caso, por ejemplo, de que un plástico demasiado viscoso no llene el molde a velocidades de cizalla bajas, pero que pueda llenarlo si se modifican las condiciones de procesado.



- Máquina convencional de inyección -

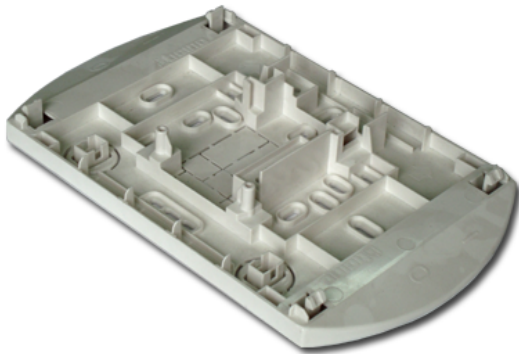
El proceso, en lo que el moldeo se refiere, puede dividirse en dos fases en la inyección en el molde. En las máquinas convencionales como la de la figura 3.2, en el material de moldeo en forma de gránulos o granza, entra el cilindro de calefacción a través de una tolva de alimentación situada en la parte posterior del cilindro de calefacción a través de una tolva de alimentación situada en la parte posterior del cilindro. El material se calienta y funde en el cilindro de calefacción, al mismo tiempo que circula hacia la parte anterior de éste, gracias al movimiento rotatorio del tornillo de plastificación que se encuentra en el interior del cilindro de forma similar a como ocurre en el proceso de extrusión. Sin embargo, en el proceso de inyección el material plastificado va quedando acumulado en la parte anterior del tornillo, para lo cual, el tornillo debe retroceder lentamente mientras gira. Una vez que hay suficientemente cantidad de material fundido acumulado delante del tornillo, se detiene el giro y el tornillo realiza un movimiento axial hacia adelante, con lo que el material fundido sale por la boquilla de inyección hacia el molde. De esta forma el tornillo actúa como tornillo plastificador y además como émbolo de inyección. El molde se encuentra refrigerado y en el momento de inyección del material debe estar cerrado. El tornillo permanecerá en posición avanzada hasta que el material que se encuentra en los canales de alimentación del molde tenga suficiente consistencia para evitar su retroceso hacia la máquina de inyección. Una vez que el tornillo retrocede comienza a plastificar nuevamente material para el siguiente ciclo. El molde se mantiene cerrado el tiempo suficiente para que el material se enfríe a una temperatura tal que la pieza pueda ser extraída sin que sufra deformaciones. Cuando esto sucede se abre el molde y se extrae la pieza de modo que el molde queda preparada para el siguiente ciclo.

La inyección es uno de los métodos que más se utiliza para fabricar piezas en plástico, ya que se puede fabricar casi cualquier forma.

Así que tiene multitud de aplicaciones en una gran diversidad de sectores, ya que casi todos los objetos plásticos que solemos ver están fabricados mediante inyección.



*- Piezas lego fabricadas por inyección -*



*- Carcasa de una pieza fabricada por inyección -*

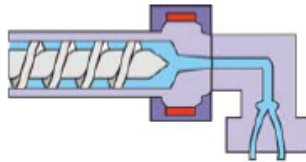


*- Piezas fabricadas por inyección con el canal de alimentación -*

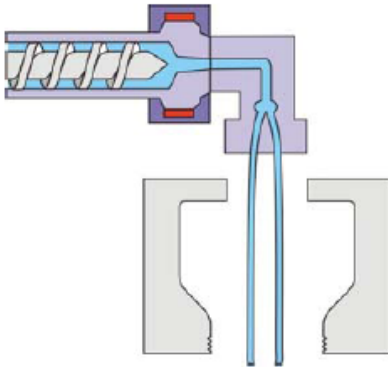
### 2.1.3. MOLDEO POR SOPLADO

Mediante el proceso de soplado pueden fabricarse cuerpos huecos como son depósitos de combustible, bidones, botellas... El proceso consiste básicamente en insuflar aire en una preforma tubular fundida que se encuentra en el interior del molde. Se emplea exclusivamente con materiales termoplásticos. Para ello son necesario dos piezas fundamentales: una extrusora o inyectora y una unidad de soplado. El funcionamiento del proceso de soplado se esquematiza en la siguiente figura para el caso de la extrusión por soplado.

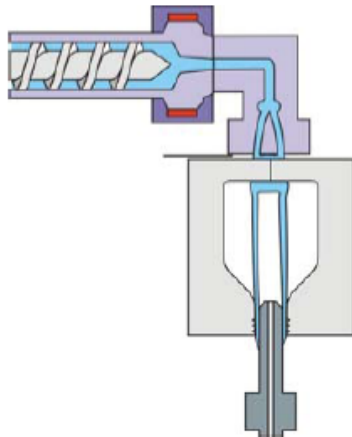




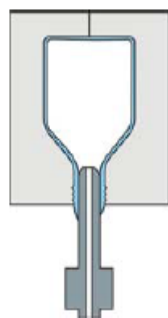
Extrusión de la preforma



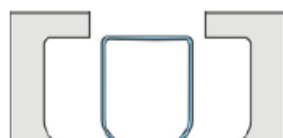
Introducción de la preforma en el molde de soplado



Introducción de aire mediante el perno de soplado



Enfriamiento de la pieza en el interior del molde



Desmoldeo

- Proceso de fabricación por soplado -

La extrusora transforma el plástico en una masa fundida homogénea,. El cabezal adosado a ella desvía la masa hasta la dirección vertical, para después hacerla pasar por una boquilla que la convierte en una preforma tubular. Esta preforma queda entonces pendiendo hacia abajo. El molde de soplado consta de dos partes móviles con la forma del negativo de la pieza a moldear. Una vez que la preforma tiene la longitud suficiente, el molde se cierra en torno a ella. Seguidamente el molde se deslaza hacia la unidad de soplado donde el cabezal de soplado penetra dentro del molde y de la preforma, de manera que el cabezal da forma a la región del cuello del cuerpo hueco y al mismo tiempo le insufla aire, esto origina una presión que obliga al material a estamparse contra las paredes del molde adoptando la forma deseada. El molde debe de emitir la evacuación del aire entre la pieza y la cavidad. La pieza se enfría en el molde donde es extraída una vez que ha adquirido la consistencia adecuada.

El moldeo por soplado se utiliza para fabricar piezas huecas, particularmente todas las botellas que solemos encontrar en nuestra vida cotidiana ( botes de gel, botellas de aceite, botellas de agua, botellas de legia, frascos de colonia....)



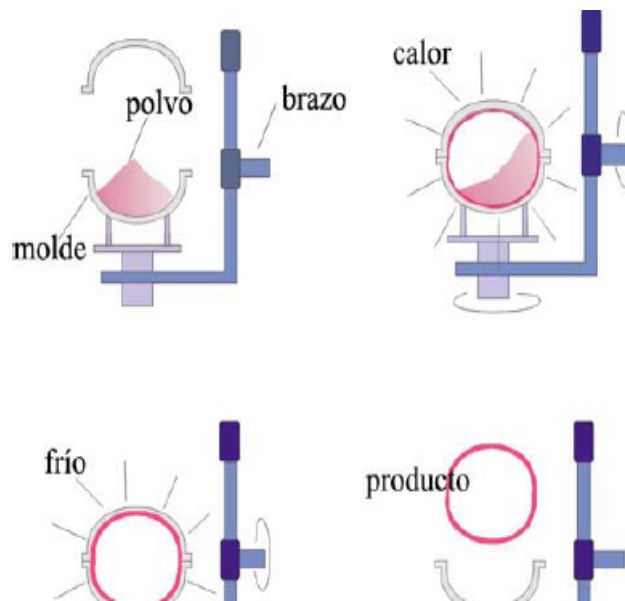
*- Botellas fabricadas por soplado -*

#### 2.1.4. MOLDEO ROTACIONAL

El moldeo rotacional o rotomoldeo es un método para transformar plásticos, que generalmente se encuentran en polvo o en forma de pasta líquida, para producir artículos huecos. En este proceso el plástico frío funde sobre las paredes de un molde metálico caliente que gira en torno a dos ejes, donde más tarde se enfría hasta que adquiere consistencia para poder ser desmoldeado. Se puede emplear indistintamente para materiales termoplásticos y termoestables.

El rotomoldeo, a diferencia de lo que ocurre con las demás técnicas de transformación, el calentamiento y enfriamiento del plástico tienen lugar en el interior de un molde en el que

no se aplica presión. De una forma simple el proceso se puede describir normalmente, tal y como se muestra en la siguiente figura: Una cantidad de plástico frío se introduce en una mitad del molde también frío. El molde se cierra y se hace rotar biaxialmente en el interior del horno. Como la superficie metálica del molde se calienta el plástico que se encuentra en el interior comienza a pegarse por las paredes del molde. Cuando el plástico ha fundido, la superficie interna del molde debe estar completamente recubierta por el mismo. En ese momento puede empezar la etapa de enfriamiento mientras continua la rotación biaxial del molde. Una vez solidificado el plástico se abre el molde y se extrae la pieza.



- Esquema del proceso de rotomoldeo -

El competidor directo del rotomoldeo para la fabricación de artículos huecos es el soplado. Mediante rotomoldeo se pueden fabricar artículos más grandes que mediante soplado, sin embargo, para piezas que pueden ser fabricadas por los dos procesos, el soplado suele resultar más rentable que el rotomoldeo.

El rotomoldeo presenta la ventaja de que las piezas fabricadas pueden tener formas más complejas, se pueden emplear simultáneamente moldes de distinto tamaño y forma, y además como no se emplea presión los moldes resultan relativamente baratos y las piezas están libres de tensiones.

Por otra parte en el caso del rotomoldeo los materiales deben estar finamente pulverizados, las etapas de carga y descarga del material se realizan a mano y los ciclos son relativamente lentos.

El rotomoldeo se utiliza sobre todo para la fabricación de piezas grandes huecas, como por ejemplo: grandes depósitos para agricultura y ganadería, elementos de seguridad vial, columpios para parques infantiles, mobiliario de exterior



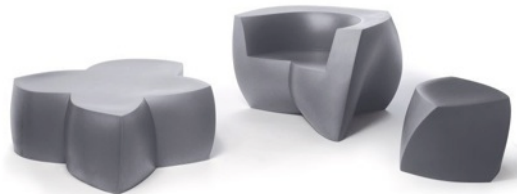
- Depósitos para agricultura -



- Barreras de seguridad vial -



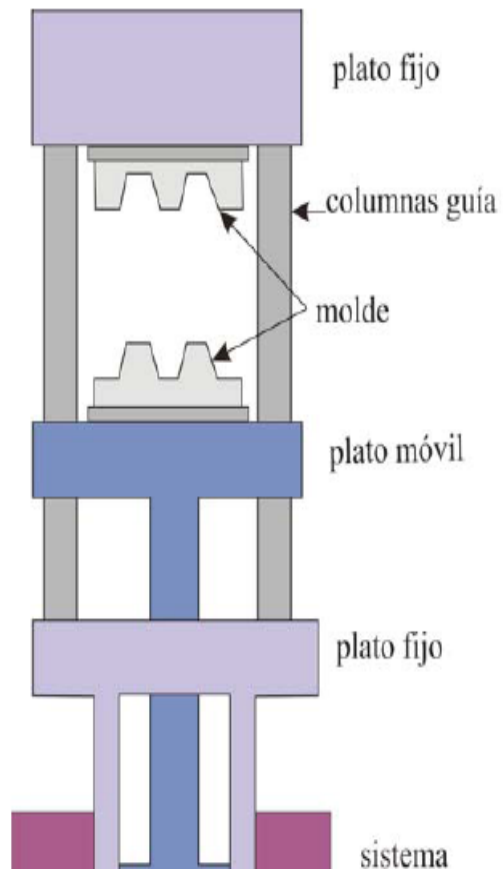
- Parques infantiles -



- Mobiliario de exterior -

#### 2.1.5. MOLDEO POR COMPRESIÓN

La industria transformadora de plásticos utiliza el moldeo por compresión para moldear materiales termoestables. En la figura 3.5 se muestra una prensa empleada en el moldeo por compresión. Puede considerarse que el ciclo comienza con la apertura del molde para la extracción de la pieza obtenida en el ciclo anterior. Una vez limpio el molde se colocan en el las inyecciones metálicas si las hubiere y se introduce el material del moldeo, bien en forma de polvo o en forma de pastilla: se cierra el molde caliente y se aplica presión. En ocasiones se abre después un instante para permitir la salida de humedad y materias volátiles que pudieran haber quedado atrapadas o que se generan durante el endurecimiento del material. Finalmente se aplica toda la presión al molde caliente y se mantiene el tiempo necesario hasta que el material haya curado totalmente.



- Prensa para el moldeo por compresión -



- Tupperware -



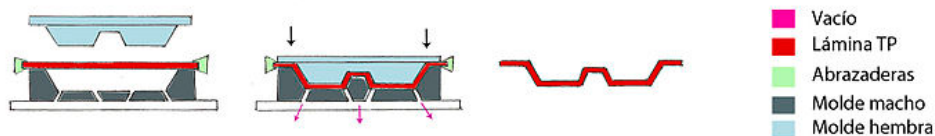
- Vasos de plástico -

### 2.1.6. TERMOCONFORMADO

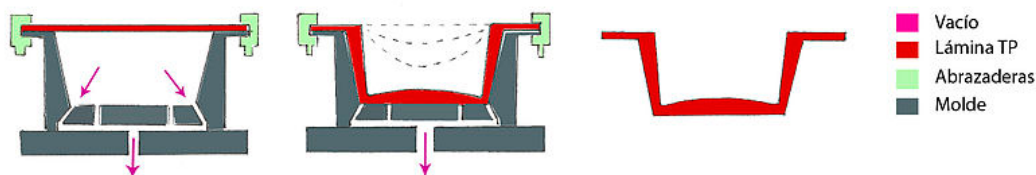
El termoconformado es un proceso de moldeo de preformas de termoplásticos que generalmente se encuentran en forma de lámina o plancha. El proceso de moldeo del semifabricado o preforma se desarrolla en tres etapas:

- **Calentamiento del semielaborado**, ya sea por radiación, contacto o convección.
- **Moldeo del semielaborado**, que tras calentarse se estira adaptándose al molde por medio de diferentes procesos (presión, vacío, presión y vacío o un contramolde).
- **Enfriamiento del producto**, que comienza cuando el termoplástico entra en contacto con el molde frío y termina cuando la temperatura es adecuada para desmoldear sin deformar la pieza.

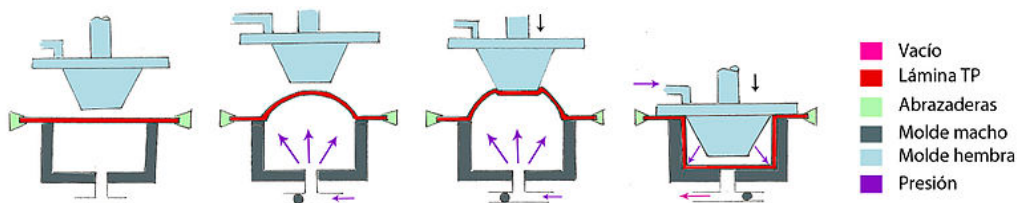
Por lo tanto existen diversas formas de termoconformar un material:



- Termoconformado por presión -



- Termoconformado por vacío -



- Termoconformado por presión y vacío -

Los materiales utilizados son siempre termoplásticos con bajo calor específico, es decir, de rápido enfriamiento y calentamiento, y que además cuenten con buena transmisión de calor (alta conductividad térmica). Estas características son de gran importancia, ya que permiten una importante reducción del ciclo de producción de cada pieza al disminuir el tiempo de calentamiento y enfriamiento del material.

Los termoplásticos más usados son PS, PVC, ABS, PMMA, TPRF entre otros; sin embargo, hay algunas excepciones como son los acetales, las poliamidas y los fluorocarbonos, que no se utilizan. Normalmente, las láminas de termoconformado contienen solamente un plástico básico, aunque también se puede utilizar combinaciones de varios materiales.

Las piezas obtenibles pueden realizarse con unos espesores de entre 0,1 y 12 mm, lo que puede suponer un inconveniente a la hora de realizar ciertas piezas, aunque la variabilidad de las características del elaborado es grande.

Un inconveniente el proceso es que frecuentemente se obtienen piezas con rebabas, por lo que es necesario desbarbar las piezas y reprocesar los desperdicios.

Se debe tener el grosor de los bordes y en las aristas de la pieza, ya que esto constituyen un inconveniente en los moles relativamente profundos. Al avanzar el material de la lámina hacia el interior de la cavidad se va estirando y adelgaza, por lo que las zonas mínimamente estiradas quedan más gruesas que las estiradas.

Hoy en día estamos rodeados de todo tipo de artículos tercomonformados, aunque podemos dividirlos en dos grandes grupos:

- La fabricación de piezas de gran superficie y estrechas paredes, como son bañeras, paneles interiores de electrodomésticos, paneles de puertas de coches o embarcaciones.
- Todo tipo de envases de industria alimentaria, como son vasitos de yogur, hueveras, envases con diferentes cavidades para repostería, tarrinas individuales de mantequilla o mermelada, etc. Este tipo de envases con huecos también se pueden aplicar a piezas de recambio o artículos de ferretería, portaherramientas o cubiteras.
- Por otro lado, hay otros productos que se fabrican por método como son las señales, accesorios de lámparas, cajones, vajillas, juguetes, cabinas transparentes de aviones o limpiaparabrisas de barcos.





- Hueveras -



- Envases para alimentación -



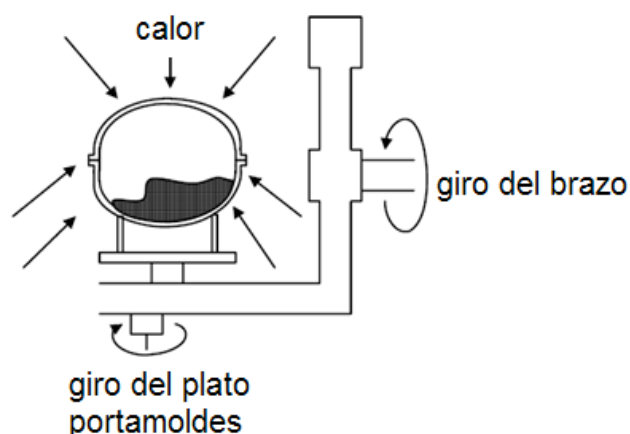
- Bañeras -

## 2.2. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE ROTOMOLDEO

### 2.2.1. ¿QUÉ ES EL ROTOMOLDEO?

El rotomoldeo o moldeo rotacional es una técnica de procesamiento de polímeros para producir cuerpos huecos relativamente grandes, en el que el plástico en forma líquida o en polvo, dentro de un molde que gira en dos ejes biaxiales, se distribuye y adhiere en toda la superficie interna gracias al aporte de calor, posteriormente el molde se enfría para permitir la extracción de la pieza terminada.

El proceso es muy simple, los plásticos en estado pulverizado o líquidos, como por ejemplo polietileno, polipropileno, PVC, nylon u otros plásticos, son introducidos junto con los aditivos necesarios (cargas, refuerzos, antioxidantes, aditivos...) en la cavidad del molde. El molde está montado sobre el plato portamoldes y el plato portamoldes se sitúa sobre el brazo giratorio, De forma que el plato portamoldes gira sobre un eje y el brazo de la máquina de rotomoldeo gira sobre otro eje diferente



- Ilustración giro biaxial de la máquina rotomoldeadora -

El molde mientras gira se va calentando, ya sea por gas o por aire caliente. Los plásticos dosificados dentro del molde se funden y se pegan sobre la pared interior del molde sin necesidad de usar presión. Posteriormente el molde se enfría con ventiladores de aire. Se puede acelerar el proceso de enfriamiento pulverizando agua sobre la superficie del molde dependiendo si el proceso requiere un enfriamiento gradual o acelerado. Finalmente el molde se abre, se quita la pieza o piezas moldeadas y el molde queda listo para volver a ser cargado para el próximo ciclo.

### **2.2.2. ETAPAS DEL ROTOMOLDEO**

El proceso de rotomoldeo consta básicamente de cuatro etapas:

#### **ETAPA 1: CARGA Y CIERRE DEL MOLDE**

Se carga un molde hueco con material plástico en forma de polvo o líquido. Generalmente el material más usado es el PE en forma de polvo. Una vez que ha sido cargado se cierra quedando bien sellado.



#### **ETAPA2: CALENTAMIENTO, MOLDEO Y ROTACIÓN**

Calentar el molde en un horno mientras rota, hasta que todo el polímero se haya fundido y adherido a la pared del molde. El grosor de las paredes de la pieza resultará según la cantidad de polímero que se haya agregado. El tiempo que el molde permanece en el horno es crítico, si es muy largo, el polímero se puede degradar y perder su resistencia al impacto. Si permanece muy poco tiempo, la fundición del polímero será incompleta, lo cual provocará la aparición de burbujas en la pieza.



### ETAPA 3: ENFRIAMIENTO Y ROTACIÓN



Enfriar el molde, generalmente con ventiladores, aunque también puede ser enfriado con agua o bien una llovizna combinada de ambos. Esta fase del ciclo puede ser bastante lenta también, el polímero debe ser enfriado a una temperatura en la cual se solidifique y pueda ser manipulado por el operador. Esto tarda generalmente 10 minutos. La pieza se encogerá mientras se enfría, despegándose del molde y facilitando su remoción. Dependiendo del material el tiempo de enfriamiento varía.

Un correcto control del tiempo de enfriamiento puede proporcionar equilibrio dimensional, mejorando las propiedades físicas del producto manufacturado. Según las características químicas del polímero, la fase de enfriamiento produce efectos diferentes sobre las propiedades físicas del producto manufacturado. En los polímeros cristalinos es deseable que se produzca la mínima distorsión de los cristales, sobre todo cuando son necesarias buenas características de resistencia a las bajas temperaturas. En los polímeros amorfos en cambio, el enfriamiento tiene un efecto mínimo sobre las características físicas del producto acabado, ya que no se produce un aumento de los cristales que hay que tener bajo control.

### ETAPA 4: REMOVER LA PIEZA

El molde es trasladado a la estación donde es abierto. Una vez abierto, es posible descargarlo sacando la pieza moldeada. El molde se vuelve a cargar y el proceso se repite tantas veces como se requiera.



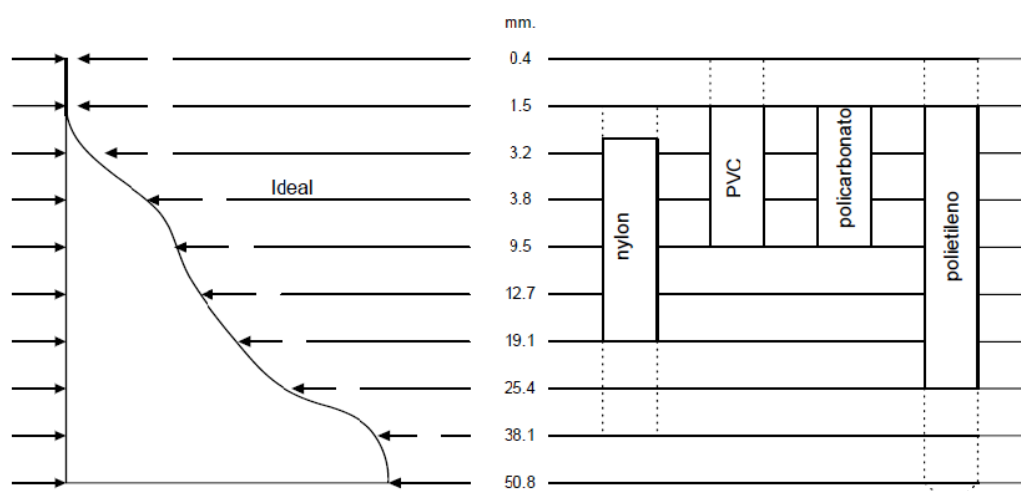
### 2.2.3. ¿CÓMO SON LAS PIEZAS FABRICADAS POR ROTOMOLDEO?

A través del rotomoldeo se pueden obtener piezas **CERRADAS** como depósitos, arcones, kayaks... y piezas **ABIERTAS** como tolvas, maceteros, casetas...

Podemos obtener piezas tanto de pequeñas **dimensiones** (volumen = 5 litros) como de grandes dimensiones (volumen = 12000litros). Una de las grandes ventajas del moldeo rotacional es la fabricación de piezas de grandes dimensiones que por otros procesos de fabricación del plástico es imposible obtener.

En cuanto a los **espesores**, el moldeo rotacional también abarca un amplio rango de posibilidades ya que se pueden fabricar paredes desde 0.75mm hasta 25mm. El rango de espesores que podemos obtener, no es el mismo para todos los materiales, sino que depende del material que queramos moldear. Por ejemplo: con el nylon podemos obtener espesores entre 2.5 y 19 mm, con el PE podemos obtener espesores entre 1.5 y 22 mm.

Además una de las cosas del moldeo rotacional que gusta mucho para el diseño de los productos es que proporciona la capacidad de aumentar o disminuir el espesor de la pared después que el molde ya esté fabricado, de manera que con un único molde podemos obtener piezas de diferentes espesores.



- Gruesos de pared posible para según el material utilizado -

En cuanto a los **COLORES**, podemos obtener piezas de cualquier color gracias a la adición de pigmentos, incluso una pieza de dos colores diferentes gracias al sistema de rotomoldeado Rock N Roll.

Las piezas que se pueden obtener son piezas estancas y sin costuras, con la posibilidad de inserción de piezas metálicas como tuercas, pasadores, etc.

#### 2.2.4. VARIABLES DEL ROTOMOLDEO

La máquina de rotomoldeo se puede controlar mediante un ordenador con un sistema informático que te permite modificar una gran cantidad de variables, como por ejemplo: la velocidad de giro de los dos ejes, la temperatura de calentamiento, los tiempos de calentamiento y enfriamiento...

Hay que tener en cuenta, que cada material tiene unas propiedades diferentes, y que las características de espesor y tamaño varían con el diseño típico de cada pieza, de manera que cada vez que deseemos fabricar una pieza diferente habrá que ajustar los valores para obtener los resultados deseados.

#### 2.2.5. MATERIALES UTILIZADOS EN ROTOMOLDEO

En el proceso de rotomoldeo se pueden utilizar polímeros termoplásticos y termoestables.

- TERMOPLÁSTICOS: PE, PVC, PP y Nylon
- TERMOESTABLES: PU

Aunque el más utilizado suele ser el PE, que puede ser de alta densidad HDPE y de baja densidad LDPE.

El estado del material al introducirlo en el molde puede ser líquido o en polvo:

- LÍQUIDO: Cuando la materia prima es en forma líquida el material puede ser PVC o plastisol.
- POLVO. Cuando la materia prima es en forma de polvo, esta puede ser LDPE, HDPE, LLDPE, Nylon, PC, EVA (Etileno Acetato de Vinilo)

Según el estado en que se introduce el material en el molde el manufacturado será diferente.

Cuando es en forma de polvo, durante la fase de calentamiento, forma inicialmente una película porosa en la superficie interna del molde a la que se adhiere luego el resto del



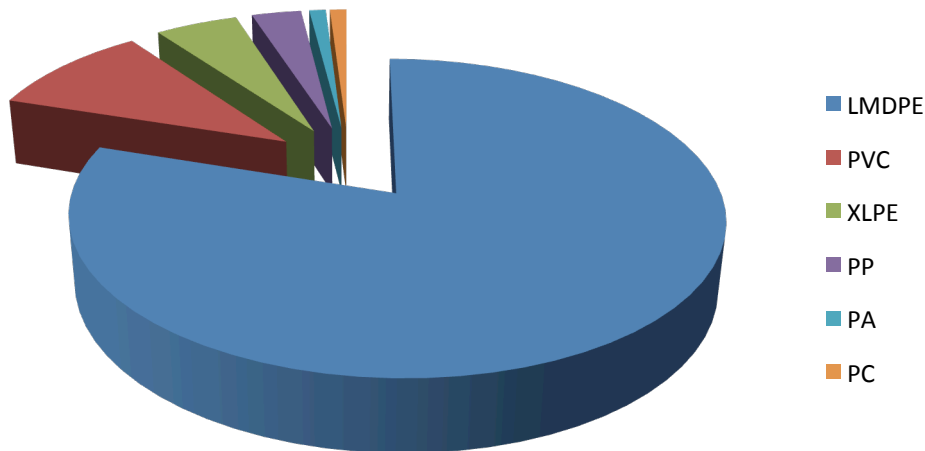
material que se había vuelto gradualmente fluido para formar una capa uniforme que se solidificará, a continuación, en la posterior fase de enfriamiento.

Cuando el material es líquido se desliza a lo largo de las paredes del molde y se calienta hasta alcanzar la temperatura en la que el fluido se solidifica, asumiendo la forma del molde que, posteriormente, se enfriará con un baño de agua o con aire soplado.

Una **buena resina** para el rotomoldeo puede definirse por los siguientes **parámetros**:

- **FACILIDAD DE MOLIENDA:** la capacidad de un material para la molienda se refiere a su capacidad para ser molido hasta un polvo fino. Los granos de resina que tienen un bajo índice de fluidez no se muelen fácilmente. En algunos casos una resina con bajo índice de fluidez puede ser molida bajo una atmósfera de nitrógeno líquido o algún otro método de enfriamiento para que el material no se caliente excesivamente durante el proceso.
- **DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA:** El tamaño de la partícula es una medida de la abertura de malla a partir de la cual pasa el 95% de las partículas. Los tamaños de malla comunes para polvos usados en rotomoldeo van de 16 a 50, correspondiendo a tamaños de partícula entre 1.9 y 0.3 mm respectivamente. Un tamaño de partícula del polvo de 35 es el apropiado para el rotomoldeo.
- **FLUIDEZ:** Para que el material se adhiera apropiadamente al molde, el polvo debe fluir fácilmente sin ninguna presión externa diferente a la gravedad. Una velocidad de flujo mínima de 185 gramos, minuto caracteriza a los polvos apropiados para el moldeo rotacional.
- **DENSIDAD A GRANEL:** Es la densidad del polvo antes de ser calentado, es decir, justamente después de ser molido. Cuanto mayor sea la densidad del material en polvo mejor es su procesabilidad para el rotomoldeo, porque se favorece la compactación entre pequeños paquetes, ayudando a la fusión de la resina.
- **FACILIDAD DE FUSIÓN:** Las partículas deben de fusionarse fácilmente durante el ciclo de calentamiento. Si el peso molecular del plástico es demasiado alto (índice de fluidez bajo) las partículas necesitarán más energía para moverse juntas y llegar a fusionarse, y por lo tanto necesitarán altas temperaturas, pudiendo provocar la degradación térmica del material. Si el peso molecular es demasiado bajo, el material se fundirá antes de fusionarse, si el material se funde formará pequeños charcos en el molde y las paredes no serán uniformemente cubiertas. Además cada resina tiene diferente rango de pesos moleculares, este rango es expresado como rango de fluidez. Para el HDPE, el rango de índice de fluidez normal es de 3 a 7. Dentro de este rango las resinas con alto índice de fluidez son seleccionadas cuando la pieza es muy compleja y se necesita de buen flujo en ciertas áreas complicadas. Resinas con bajo índice de fluidez son necesarias cuando se necesita mejorar la resistencia al impacto, al agrietamiento por esfuerzos y a la carga. Desde el punto de vista del desempeño físico, las resinas con bajo índice de fluidez son preferidas, aunque son difíciles del moldear y no pueden ser usadas para la elaboración de algunas piezas.

## MATERIALES USADOS EN ROTOMOLDEO



### 2.2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ROTOMOLDEO



#### VENTAJAS:

- ✓ Ofrece libertad de diseño, es posible fabricar artículos complejos con herramientas sencillas y de bajo coste.
- ✓ Obtención de piezas con buen comportamiento mecánico, esto se debe a que las tensiones internas generadas en el proceso de fabricación son mínimas, debido a las bajas presiones empleadas.
- ✓ Las piezas obtenidas no presentan costuras ni marcas, son cuerpos sin señas marcadas por el moldeo.
- ✓ Roscas, bisagras, casquillos e insertos metálicos se realizan en el mismo proceso, eliminando costos por operaciones secundarias necesarias en otros procesos de transformación
- ✓ Los desperdicios de material son mínimos, ya que este proceso no requiere el uso de coladas ni bebederos.
- ✓ Obtención de piezas de gran tamaño, no accesibles para otros sistemas de moldeo.
- ✓ El coste de moldes para roto moldeo es bajo, debido a las bajas presiones utilizadas en el proceso.
- ✓ Gran variedad de colores y acabados
- ✓ Rango de espesores entre 2 y 20 mm, sin tener que modificar el molde para variar el espesor.
- ✓ Los materiales roto moldeables son 100% reciclables.
- ✓ Capacidad de aumentar el espesor de la pieza una vez fabricado el molde.
- ✓ Permite la fabricación de piezas de espesor constante.





### **DESVENTAJAS:**

- Está limitado a la producción en baja escala, ya que el tiempo para fabricar una pieza puede ser de una hora, mientras que en otros procesos de fabricación como son la inyección o el soplado el tiempo para fabricar una pieza puede ser de segundos.

## **2.2.7. APLICACIONES**

### **AUTOMOCIÓN**

Depósitos de combustible, guardabarros, conductos de aire, salpicaderos, piezas de carrocería, asientos...



*- Depósitos de combustible -*



*- Asientos de autobús -*

### **MOBILIARIO DE DISEÑO E ILUMINACIÓN**

Butacas, sillas, taburetes, sillones, lámparas de pie, lámparas colgantes, plafones, maceteros, percheros, estanterías...



*- Mobiliario -*



*- Lámparas -*

## INDUSTRIAL

Depósitos de aceite, protecciones, contenedores productos químicos, depósitos de maquinaria en general...



- Depósitos de aceite -



- Contenedores -

## CONSTRUCCIÓN

Pozos de registro, fosas sépticas, depósitos de agua, depuradoras, arquetas, conductos de agua, separadores de grasas.....



- Depósitos de agua -



- Fosas sépticas -

## GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA

Tolvas de alimentación, comederos, abrevaderos, recipientes de todo tipo, depósitos de pulverización, atomizadores, maquinaria agrícola, boyas, pantalanes, salvavidas, contenedores de pescado...



- Abrevaderos -



- Depósito para bebidas -

## TRÁFICO

Barreras medianas y viales, hitos, conos, señalización....



- Barreras de seguridad vial -



- Conos de señalización vial -

## MERCHANDISING

Expositores de productos, elementos de escaparate, maniquíes, material punto de venta...



- Expositores -



- Maniquies -

## VARIOS

Juguetes, canoas, kayacs, palets, tanques, depósitos...



- Parques infantiles -



- kayaks -

### 2.2.8. TIPOS DE MÁQUINAS ROTOMOLDEADORAS

La maquinaria para el sistema de moldeo rotacional, es de gran simplicidad mecánica, consta de dos ejes cruzados, de giro sincronizado, en el segundo de los cuales van montados los moldes.

Hay una gran diversidad de máquinas rotomoldeadoras, todas tienen el mismo proceso de producción, pero sin embargo la forma de hacerlo cambia según el movimiento de los carruseles, el número de carruseles, el número de estaciones, la forma de calentamiento...

En líneas generales podemos clasificarlas según sea el calentamiento del molde:

Si el calentamiento del molde se lleva a cabo en un horno, tenemos:

- Máquina de desplazamiento lineal.
- Máquina de estación simple ( Clam Shell)
- Máquina de giro basculante ( Rock N Roll)
- Máquina tipo carrusel.

Si el calentamiento del molde no se realiza en el interior de un horno, tenemos:

- Máquina de flama abierta.

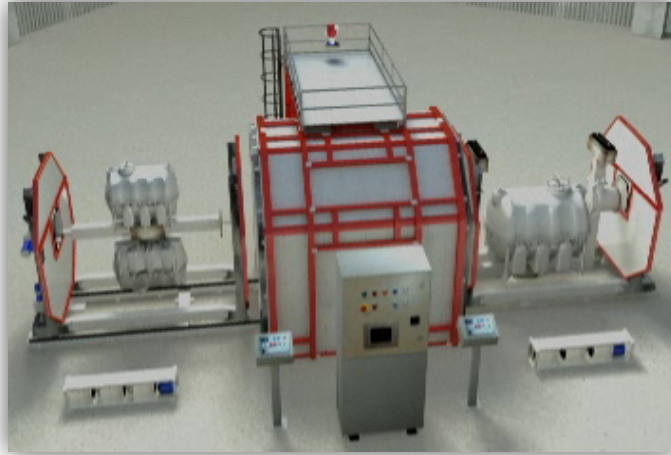
Los diferentes tipos de máquinas de rotomoldeo llegan al mismo objetivo, pero sin embargo, lo hacen de distintas maneras. Por lo tanto los diferentes tipos de máquinas de rotomoldeo se diferencian entre sí, en el proceso que se sigue para obtener la pieza final. Para entender mejor las diferencias entre los diversos tipos, a continuación se explica su funcionamiento:

- **MÁQUINA DE DESPLAZAMIENTO LINEAL.**

Consiste en una máquina de desplazamiento lineal, con un horno central y uno o dos carruajes. Los carruajes entran en un horno, donde se funde el material plástico y se adhiere a las paredes del molde mediante el giro biaxial. Después viajan hasta la estación de enfriamiento para su posterior extracción.

Existen dos posibilidades para las máquinas de desplazamiento lineal:

- Máquina de desplazamiento lineal de un solo carro,
- Máquina de desplazamiento lineal de doble carro, consiste en alternar la entrada a la estación de calentamiento y la salida a la estación de enfriamiento de cada uno de los carruseles. Con este sistema se consigue que la máquina de desplazamiento lineal de doble carro, sea más productiva que la de un solo carro.



- Máquina de rotomoldeo de desplazamiento lineal -

- **MÁQUINA DE ESTACIÓN SIMPLE ( CLAM SHELL)**

Estas máquinas, llamadas clam Shell, porque su forma se asemeja a la de una almeja, presentan la particularidad de que todo el proceso ocurre en la misma cámara, que sirve como horno ( por medio de calentadores externos y la conducción del calor a través del aire), y como cámara de enfriamiento con circulación de aire frío y aspersores de agua. Estas máquinas requieren de bajos niveles de inversión inicial, poco espacio y mano de obra mínima, pero sin embargo requieren de una mayor duración del ciclo y mayores gastos en consumo de energía y servicios industriales, debido a que debe acondicionarse el mismo recinto para calentamiento y enfriamiento. Son útiles para bajos volúmenes de producción y para el desarrollo de prototipos.



- Máquina de rotomoldeo tipo clam Shell -

- **MÁQUINA DE GIRO BASCULANTE ROCK N ROLL**

La máquina ROCK N ROLL, al igual que la de desplazamiento lineal tienen uno o dos carros, y dependiendo de esto tendrá un horno y una o dos estaciones de enfriamiento. Este tipo de máquina rotomoldeadora, a diferencia de las demás no gira en los dos ejes, sino que en

uno gira, y en otro se balancea. Con esto se consigue fabricar piezas de grandes dimensiones. Otra de las características de la máquina ROCK N ROLL, es que se pueden obtener piezas de dos colores diferentes, de manera que queda la mitad de la pieza de un color, y la otra mitad de otro. Esto se debe gracias al giro basculante de uno de sus ejes.



*- Máquina de rotomoldeo tipo rock and roll -*

- **MÁQUINA TIPO CARRUSEL**

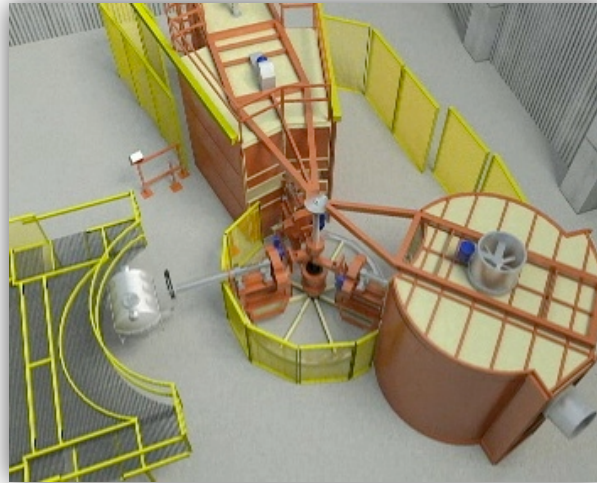
Este tipo de máquina se diferencia de las demás porque el desplazamiento en lugar de ser lineal, es rotacional. De manera que la máquina consta de 3 estaciones: Una de calentamiento, otra de enfriamiento y por último la de carga y descarga, y de un eje central con tres brazos, en cada uno de los cuales van montados varios moldes en el portamoldes. Así que cuando un brazo está en el horno, otro está en la estación de enfriamiento y otro en la estación de carga y descarga, con esto lo que se consigue es aumentar la productividad.

Cada uno de los brazos realiza el ciclo típico de las máquinas rotomoldeadoras, que es:

1. ESTACIÓN DE CARGA Y DESCARGA: Carga del molde con la materia prima y cierre del molde, de forma que quede bien sellado.
2. ESTACIÓN DE CALENTAMIENTO: Rotación en dos ejes y aporte de calor mediante la circulación de aire caliente en un circuito cerrado, para que el material funda y se adhiera a las paredes del molde.
3. FASE PRE-ENFRIAMIENTO: Se realiza un intermedio esperando a la fase de enfriamiento, para que el cambio de temperaturas no sea muy brusco.
4. ESTACIÓN DE ENFRIAMIENTO: Rotación en los dos ejes y aporte de frío mediante aire o agua.
5. ESTACIÓN DE CARGA Y DESCARGA: Apertura del molde y extracción de la pieza fabricada.



Para la selección de este tipo de máquinas es necesario que las duraciones de los ciclos de calentamiento y enfriamiento sean similares, que la disponibilidad del espacio no sea crítica y que se necesiten altos niveles de producción. Estas máquinas son por lo tanto muy efectivas, de alto rendimiento y bajo costo de mantenimiento. Los brazos de estas máquinas pueden programarse independientemente entre sí, incrementando la flexibilidad de la operación.



- Máquina de rotomoldeo tipo carrusel -

#### **CALENTAMIENTO MEDIANTE FLAMA ABIERTA:**

En este tipo de máquinas el calentamiento se realiza mediante varios sopletes, y no existe horno, de manera que las pérdidas de calor son mayores y el ciclo de producción será mucho más largo.



- Máquina de rotomoldeo de flama abierta -



### 2.2.9. TIPOS DE MOLDES

En cuanto a los tipos de moldes, según el material del que están fabricados tenemos varios tipos:

- a. Moldes de aluminio vaciado
- b. Moldes de lámina soldada
- c. Moldes electroformados
- d. Moldes maquinados

#### a. MOLDES DE ALUMINIO VACIADO

Los moldes con cavidades de aluminio vaciado son el tipo de molde más comúnmente usado en rotomoldeo cuando se busca alta calidad en las piezas a fabricar. Existen dos tipos de cavidades vaciadas: de yeso y de arena. Las cavidades vaciadas usando yeso son más caras, pero también de mejor calidad. Estas cavidades proporcionan mejor repetibilidad dimensional y detalles finos.

Se pueden vaciar en espesores de pared tan delgados como 4.75mm. Las cavidades vaciadas usando arena son más económicas, pero los vaciados son más porosos, el vaciado de arena no proporciona el detalle ni la repetibilidad de las dimensiones que si son posibles con las de yeso. Los vaciados de arena tienen un espesor mínimo de pared de aproximadamente 6.35 mm. Ambos tipos de cavidades de aluminio requieren un modelo o patrón. Los patrones tienen la desventaja de incrementar el costo y el tiempo requeridos para producir una cavidad vaciada. Sin embargo, estos patrones nos permiten ver como será la parte aún antes de construir el molde. También nos permiten la entrega de cavidades adicionales rápidamente y de bajo costo. Moldes grandes de aluminio vaciado se usan sólo cuando la complejidad y tolerancias dimensionales son importantes.

#### b. MOLDES DE LÁMINA SOLDADA

Las cavidades fabricadas con lámina metálica son el segundo tipo de molde más común usado en rotomoldeo. Su mayor aplicación es en cavidades grandes de formas relativamente simples. Es difícil definir los costos relativos de una cavidad de lámina en comparación con una cavidad de aluminio vaciado. Por ejemplo, una cavidad para un tanque de 208 litros, puede ser hecha por vaciado o en lámina. Si se requieren varias cavidades, el vaciado sería la solución más económica. Si se requiriera únicamente una cavidad, la lámina de metal sería más rápida y de menor costo.

Las cavidades fabricadas se hacen doblando, estirando, cortando y soldando placas de hojas de metal. Los metales más comunes son aceros al carbón, aluminio y acero inoxidable, este proceso requiere mucha habilidad; se pueden lograr formas sorprendentes

y complejas. El espesor de las cavidades fabricadas en lámina puede variar según se requiera. Una gran ventaja de este enfoque es la posibilidad de utilizar diferentes espesores y/o diferentes materiales en diferentes lugares de la cavidad. Los espesores para aceros al carbón e inoxidables para moldes de rotomoldeo generalmente fluctúa entre 1.3 y 3.6 mm, siendo el espesor más común el de 2.0 mm, el espesor de lámina para cavidades de aluminio varía de 2.0 a 6.4 mm. En general se puede decir que las marcas que deja la soldadura son difíciles de remover dependiendo del material a soldar, esto quiere decir que cuanto más fino se requiera el acabado, más caro saldrá el molde. Eliminar totalmente las marcas de soldadura incrementaría notablemente el costo del molde, además los terminados inadecuados de soldadura pueden provocar porosidad e imperfecciones. Estas marcas no afectan la calidad funcional de la parte, pero sí afectan la apariencia.

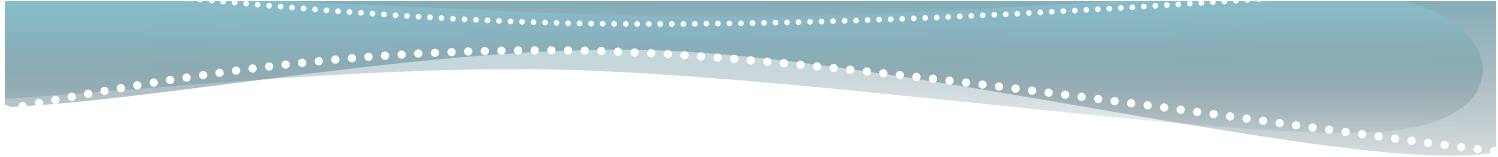
### **c. MOLDES ELECTROFORMADOS**

Las cavidades electroformadas son quizá las cavidades más costosas para usar en rotomoldeo, son principalmente usadas para formas muy complicadas que requieren detalles muy finos en el acabado de la superficie y/o muescas profundas. Las cavidades electroformadas tienen la desventaja, al igual que las cavidades de vaciado, de requerir un patrón, el electroformado que es un proceso excelente para hacer moldes de cavidades múltiples dimensionalmente precisas, y una de las ventajas del proceso es su habilidad para producir cavidades con muescas profundas.

### **d. MOLDES MAQUINADOS**

Las cavidades maquinadas de acero al carbón, aluminio o acero inoxidable proporcionan el nivel más alto de precisión de los varios tipos de moldes usados. También son el tipo de cavidades más caro, excepto para formas simples y sencillas muy fáciles de maquinar, así como también proporcionan el más alto nivel de pulido de superficies y pueden ser texturizados, grabados, tratados con chorro de arena (*sand-blast*). La mayor desventaja es que son económicamente posibles únicamente

para formas simples, a veces también es difícil maquinar la parte externa del molde para producir una pared delgada y uniforme de la cavidad. En años recientes, las capacidades de cavidades maquinadas se han extendido con el advenimiento del CAD-CAM o CNC, para hacer formas más complejas y remover el exceso del material de la parte exterior de la cavidad y para producir una pared uniformemente delgada. Las cavidades maquinadas pueden o no ser económicas para una sola cavidad, sin embargo proporcionan el tiempo de entrega lo más rápido posible .



# Caso real de diseño y fabricación de una luminaria en la empresa rotoformas

### **3. CASO REAL DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA LUMINARIA EN LA EMPRESA ROTOFORMAS**

El proceso de diseño de una pieza no termina cuando tenemos el diseño formal de la pieza, sino cuando ya tenemos el modelo físico y real fabricado, y muchas veces ni entonces porque a posteriori pueden salir fallos o puede que la pieza no funcione bien, y haya que rediseñarla, o incluso que con el paso del tiempo se haya quedado desfasada y sea necesario un diseño nuevo. Por lo tanto el proceso de diseño es un proceso complejo y en la mayoría de los casos cíclico, ya que siempre se tiende a mejorar lo que tenemos.

A continuación se documenta todo el proceso de diseño de una luminaria por rotomoldeo, desde el concepto, hasta la obtención de la pieza final y su venta. Este proceso es un caso real de una luminaria diseñada por Héctor Alonso y fabricada en la empresa Rotoformas en Cadrete ( Zaragoza).

El tema del que trata este proyecto me parece muy interesante para complementar mis estudios de Ingeniería Técnica en Diseño Industrial, ya que durante la carrera hemos aprendido muy bien el método a seguir a la hora de diseñar una pieza, pero no hemos visto nada de todo el proceso que le sigue hasta que la pieza está totalmente fabricada, y el trabajo de un diseñador no se limita a diseñar formalmente, sino que va más allá, y debe saber solventar los problemas que puedan surgir en la fabricación de la pieza.

**FASES DEL PROCESO DE DESARROLLO DE UNA LUMINARIA POR ROTOMOLDEO:**

1. FASE DE DISEÑO
2. FASE DE FABRICACIÓN

#### **3.1. FASE DE DISEÑO**

La fase de diseño normalmente suele partir debido a que hay una necesidad de crear algo nuevo o mejorar lo existente.

Héctor Alonso es un diseñador de lámparas autónomo, que se dedica a realizar diseños de lámparas novedosos, para después venderlos a otras empresas. De manera que él siempre tiene la propiedad intelectual de sus diseños, pero la empresa a la que se lo vende tiene los derechos de venta y lucro de esa lámpara. De forma que una vez que ha vendido la lámpara a una empresa, él ya no puede venderla a otras empresas o personas, ya que únicamente tiene el derecho de autor y creador.

La fase de diseño en este caso parte de que a Héctor se le ocurre diseñar una lámpara de pie iluminada por un fluorescente interior. La forma de esta lámpara es un poco abstracta, ya que parte de su base con una forma cuadrada que luego se va estrechando hasta convertirse en una forma circular, y posteriormente se ensancha en forma circular hasta su parte más alta.

Para plasmar esta idea es necesario conocer el manejo de programas de diseño y animación 3d. En este caso se ha utilizado Solid Work para realizar el modelado 3d y los planos técnicos, y 3dMax para realizar la animación y el juego de luces y sombras de la lámpara, y así darle un aspecto más real.

Así que Héctor empieza a buscar y a ponerse en contacto con empresas que le puedan fabricar un modelo de esta lámpara, para después hacer de comercial y venderlo a empresas que tienen tiendas dedicadas a la iluminación. Este es un trabajo difícil según Héctor, ya que tiene que enseñar su diseño, pero sin desvelarlo del todo porque muchas de las empresas a las que vende sus diseños poseen oficina técnica y estudio propio dónde se realizan diseños de lámparas, y desvelar del todo su diseño supondría la posibilidad de que le pudieran plagiar, y así no tener que comprarle su idea. Por lo tanto, a veces es difícil intentarles vender algo sin enseñarles del todo la idea, pero convenciéndoles de que lo tienen que hacer.



En este caso Héctor visitó a una empresa (Pujol Iluminación, situada en St. Feliu de Llobregat) a la que ya le había realizado algún diseño, para intentar venderle la lámpara de pie, cosa que consiguió, y ahora podemos encontrar en los catálogos de iluminación de esta empresa.

Esta lámpara como hemos comentado, posee una forma un tanto abstracta y queda restringida a fabricarla por rotomoldeo, ya que su forma impediría el desmoldado por otros procesos de fabricación, como por ejemplo la inyección. De manera que Héctor se puso en contacto con una empresa dedicada a la fabricación por rotomoldeo, llamada ROTOFORMAS, y aquí no le pusieron problema para fabricar la lámpara.

La fabricación del primer prototipo fue algo costosa, debido a que las primeras piezas salían defectuosas. Esto se debe a que no es cosa fácil el ajuste de la cantidad de material y de los parámetros de la máquina, y ello requiere realizar varias tiradas modificando los parámetros hasta que se obtienen los resultados requeridos.

### 3.1.2. FACTORES DE DISEÑO PARA PIEZAS FABRICADAS POR ROTOMOLDEO

El rotomoldeo está diseñado para la obtención de piezas plásticas huecas de gran tamaño, teniendo prácticamente competidor nulo en el moldeo de las piezas grandes. Sin embargo, existen productos pequeños manufacturados por rotomoldeo (por ejemplo pelotas y bolas de rollon), en cuyos casos se usan moldes de numerosas cavidades. Los polietilenos, son los materiales que dominan el mercado del rotomoldeo. El polietileno (PE) en sus varias formas, representa el 85-95% de todos los polímeros rotomoldeados. A continuación se presentan los aspectos que deben tomarse en cuenta al diseñar partes plásticas a ser rotomoldeadas con PE.

#### -ELECCIÓN DEL MOLDE

- Grandes productos como tanques o piezas con bajo requerimiento de apariencia, son fabricados en **moldes** hechos con **acero o aluminio laminado**.
- Piezas con mayor requerimiento de apariencia o mayor complejidad son generalmente producidos en moldes fabricados **en fundición de aluminio**.
- Para los más altos requerimientos de calidad de superficie en las piezas, los moldes pueden fabricarse con técnicas de **electroformado o de deposición en vacío** (níquel o cobre-níquel).
- El número de líneas de partición del molde debe ser el mínimo para no incrementar su costo y mantenimiento y por lo tanto el costo de la pieza, que además podría también incrementarse por el exceso de rebabas, que deban removerse, creadas por las líneas de partición.

#### -ASPECTOS DE DISEÑO EN ROTOMOLDEO PARA PIEZAS DISEÑADAS CON PE

##### ESPESOR DE PARED NOMINAL

Debe ser tal que se mantengan las propiedades mecánicas del material, requeridas para el desempeño de la pieza sin tener largos tiempos de ciclo, buscando la eficiencia óptima y que no ocurra degradación del material.

- Los espesores de pared se pueden controlar alterando la relación de velocidades de los ejes del equipo.
- Aislado ciertas áreas del molde, se reduce el crecimiento de espesor en ellas y dirigiendo calor extra, se obtienen mayores espesores

En la siguiente tabla se muestran los valores de espesor de pared nominal para piezas rotomoldeadas con PE.

ESPESOR	mm
<b>Mínimo</b>	1.52
<b>Óptimo</b>	3.18
<b>Máximo</b>	12.7
<b>Mayor conocido</b>	50.8

## RADIOS EN LAS ESQUINAS

Deben evitarse las esquinas agudas o afiladas, como en todos los tipos de moldeo de Plásticos. El valor de radio de esquina recomendado es de, al menos, 75% del espesor nominal de pared, para mejorar la resistencia de la zona (las esquinas internas tienden a ser más delgadas y las externas, más gruesas que el espesor de pared). En la siguiente tabla se muestran los valores de radio en las esquinas para piezas rotomoldeadas en PE:

RADIO	INTERNO	EXTERNO
<b>Mínimo</b>	1.52mm	3.20mm
<b>Mejor</b>	6.35mm	12.70mm

## ÁNGULOS EN LAS ESQUINAS

- Deben evitarse los ángulos muy agudos para que no ocurra puenteo del material en polvo.
- En rotomoldeo con PE los ángulos de esquina no deberían tener menos de 45°. A continuación, los ángulos utilizados en rotomoldeo con PE:

ÁNGULO	VALOR
<b>Mínimo utilizado</b>	30º
<b>Mínimo recomendado</b>	45º
<b>Bueno</b>	90º
<b>Mejor</b>	120º

## SEPARACIÓN DE LA PARED MÍNIMA (MOLDEO DE DOBLE PARED)

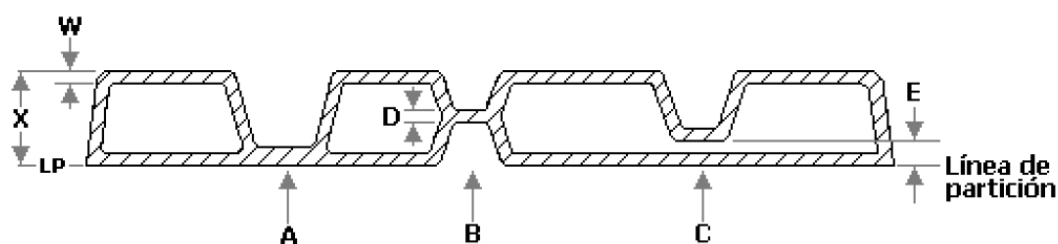
La separación interna entre superficies (X en la figura de abajo) debe ser, al menos, 3 veces el espesor de pared nominal (W), sin embargo esta relación debe utilizarse sólo en casos extremos. La mínima separación standard debe ser 5 veces el espesor de pared ( $X^35W$ ).



## REFUERZOS

Deben ser diseñados como corrugaciones en vez de costillas sólidas.

- Las corrugaciones deben tener una ligera inclinación de pared para facilitar el desmoldeo.
- El ancho de la costilla hueca (M en la figura de abajo) debería ser, al menos, 5 veces el espesor de pared (W), ( $M \geq 5W$ ) y la altura (N) de, al menos, 4 veces el espesor de pared, ( $N \geq 4W$ ).
- El espaciamiento entre costillas (O en la figura 2) no debe ser menor a 3 veces el espesor de pared, ( $O \geq 3W$ ), siendo mejor un espaciamiento de 5 veces W.
- Se utilizan además dispositivos especiales llamados kiss-offs, los cuales son muy efectivos para aportar rigidez, A y B en la figura de abajo.
- En los kiss-offs, el espesor combinado de las paredes (D en la figura de abajo), debería ser 1.75 veces el espesor de las paredes ( $D = 1.75W$ ).
- En el caso de los pseudo-refuerzos (C en la figura de abajo), la separación (E) debe ser de, al menos, 3 veces el espesor de pared ( $E \geq 3W$ ), siendo mejor un espaciamiento de 5W.



- Detalles de diseño en piezas, planas o de doble pared, rotomoldeadas -

## ÁNGULOS DE DESMOLDEO

Se deben incluir inclinaciones en las paredes; ángulos de desmoldeo, sobre todo en el macho del molde (superficie interna), ya que el encogimiento contrae el material sobre él. La hembra (superficie externa), usualmente no necesita inclinaciones en las paredes, ya que el material encoge alejándose de ella. La tabla siguiente registra los ángulos de desmoldeo recomendados para piezas a rotomoldear con PE.

ÁNGULO	SUPERFICIES INTERIORES	SUPERFICIES EXTERIORES
Mínimo	1º	0º
Mejor	2º	1º

Se necesitará un grado extra en todos los casos, si el molde es texturizado.

## ROSCAS

- Deben utilizarse perfiles redondeados y gruesos tanto en roscas internas como externas.
- Evitar ángulos agudos en la punta y en la base de la rosca.
- Es posible soldar insertos moldeados por inyección dentro de los agujeros, durante el rotomoldeo.
- A menudo se rocían sustancias comerciales promotoras de flujo, en el área de las roscas, con lo que se mejora la reproducción de éstas y otros detalles.

## INSERTOS METÁLICOS

Utilizar metales de alta conductividad.

- Utilizar superficies texturizadas (con protuberancias) para mejorar la adhesión al plástico.
- El inserto debe diseñarse tal que quede anclado al plástico.
- Asegurar un espaciamiento adecuado entre el inserto y cualquier otra superficie, para prevenir el puenteo del material en polvo: la distancia entre una superficie de la pieza y la que contiene el inserto, debe ser, al menos, 4 veces el espesor de pared. Ver T en la siguiente figura.
- Colocar el inserto firmemente dentro del molde.
- Evitar insertos muy espaciosos o anchos que puedan dificultar el desmoldeo, debido a las fuerzas de encogimiento.
- Tener cuidado con el uso de insertos en piezas de PE, si hay posibilidad de que la pieza vaya a ser expuesta a stress cracking : la restricción resultante al incluir el inserto introducirá esfuerzos residuales.

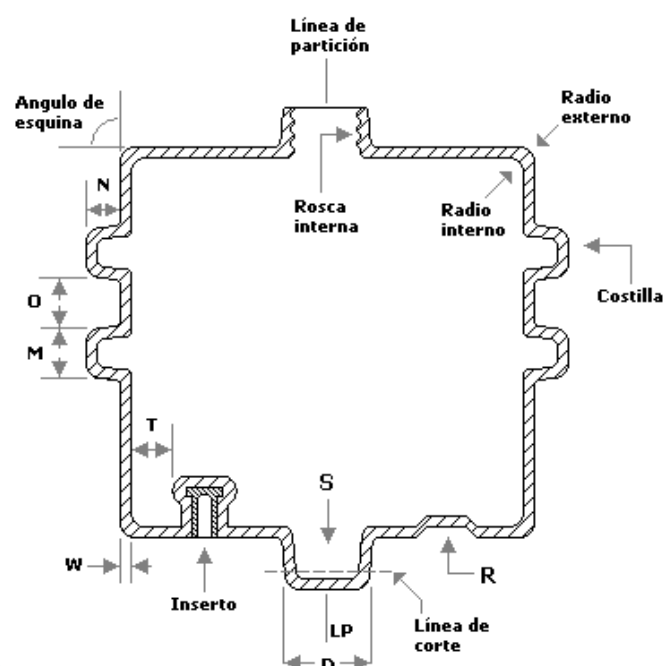
## VENTEO

- Los puntos de venteo se instalan, normalmente, en secciones que serán removidas en el acabado de la pieza. Si lo anterior no es posible, será necesario soldar el agujero de venteo en una operación posterior.
- Los canales de venteo deben construirse con materiales de baja conductividad térmica (ej: acero inoxidable o teflón).

- Los canales deben rellenarse, sin compactar, con lana de vidrio, para prevenir escapes del polvo de material.
- La abertura externa de los canales debe estar diseñada para prevenir el ingreso de agua durante el enfriamiento.
- El tamaño de canal recomendado es de, aproximadamente, 10-15 mm en diámetro por metro cuadrado de volumen del molde.

## REBAJES

- Los rebajes (undercuts) son permisibles donde el encogimiento o flexibilidad del material permita la extracción de la pieza del molde.
- Amplios ángulos de desmoldeo en rebajes externos ayudarán al material a soltarse del molde.
- Los rebajes internos no son permitidos ya que el encogimiento del material impedirá la extracción de la pieza.
- Las indentaciones de rebaje y la línea de partición deberían colocarse en el mismo plano, en dirección paralela las primeras de la segunda. Ver la siguiente figura, donde R es un rebaje.
- Frecuentemente los rebajes son diseñados tal que puedan ser removidos con el encogimiento del material; si el rebaje es muy profundo puede usarse una coraza adicional, removible, antes del desmoldeo.



## AGUJEROS

- No pueden moldearse como tales en rotomoldeo, sino que es necesaria una mecanización posterior al moldeo, utilizando herramientas normales de corte o usando en la coraza, pasadores a los cuales no se adhiera la resina.
- Se pueden fabricar realces, moldeando un cilindro, cuya punta se corta al final para dejar una abertura. Ver S en la figura 2.
- El diámetro de los agujeros debería ser de, al menos, 5 veces el espesor de pared nominal ( $D = 5W$ ).

## UNIFORMIDAD Y TOLERANCIAS

- Mayores ángulos en las esquinas, tanto internas como externas, resultarán en mayor uniformidad de espesores de pared.
- El considerable encogimiento del PE, típicamente 3-4%, es permitido, con tolerancias de 1-2%. Este encogimiento debe tomarse en cuenta, particularmente, en la(s) zona(s) de línea(s) de partición o acoples de partes del molde, donde es imposible controlar el encogimiento.
- Las variaciones de espesor pueden modificarse ajustando la conductividad térmica del molde, por secciones, como se desee.
- Las tolerancias de uniformidad de pared son, normalmente,  $\pm 20\%$  y con mayor dificultad,  $\pm 10\%$ .
- Las tolerancias de planitud, son de 2-5%, siendo éstas las mejores que se pueden obtener, debido al enfriamiento unilateral del rotomoldeo.

## PARA MINIMIZAR EL ALABEO

- Evitar las variaciones de espesor de pared
- Asegurar que las paredes no desmolden prematuramente (la liberación del molde es muy efectiva).
- Los refuerzos (costillas huecas) pueden ser utilizadas, a veces, para contrarrestar la tendencia al alabeo.

- En la medida de lo posible, evitar secciones planas grandes. Diseñar con domos, curvas, contornos, patrones de cuadrícula, etc.
- El uso de superficies curvas es altamente recomendado para disimular el alabeo.

### OTRAS CONSIDERACIONES PARA LA UNIFORMIDAD

Las tolerancias pueden acomodarse a través del uso de agujeros sobredimensionados.

- Los grandes diferenciales de coeficientes de expansión térmica lineal entre dos partes, son tratados excelentemente también con agujeros sobredimensionados.
- Para compensar la pérdida de superficie de soporte bajo la cabeza de un tornillo, comúnmente se coloca una arandela.
- Para la inclusión de una arandela de seguridad, se debe tener en cuenta la expansión en la dirección de la altura.
- Nunca utilizar una arandela de seguridad sin su respectiva arandela plana, debido a la sensibilidad de los plásticos a las grietas
- Para las variaciones dimensionales mayores a las que pueden acomodarse en agujeros sobredimensionados, se usan ranuras entrecruzadas en los moldes, junto con una tuerca, perno y arandelas.

Debe considerarse que los agujeros cruzados son más costosos para la herramienta que los redondeados.

La siguiente tabla sintetiza los valores de tolerancias dimensionales (en mm) utilizados para el rotomoldeo de piezas con PE

TOLERANCIA	DIMENSIONES LINEALES	BASE/ANCHO DE REBAJES	DIÁMETROS DE AGUJEROS
<b>Industrial</b>	0.020	0.015	0.010
<b>Posible</b>	0.010	0.008	0.008
<b>De precisión</b>	0.005	0.004	0.004

### 3.2. FASE DE FABRICACIÓN

Una vez que ya tenemos el diseño y la empresa que nos lo compre para después venderlo, comienza la fase de fabricación y producción.

Existen diversos métodos para fabricar piezas plásticas: extrusión, inyección, soplado, compresión, termoconformado y rotomoldeo. En este caso, para fabricar una lámpara de

exterior se ha utilizado el proceso de rotomoldeo, porque era el que mejor se adaptaba a las características requeridas, ya que:

- ✓ La lámpara posee una forma compleja, que por otros métodos de fabricación sería imposible desmoldear.
- ✓ Es una lámpara destinada a terrazas exteriores, por lo tanto debe ser estanca, y para que esta propiedad se cumpla, debe de tener el menor número de piezas. Esto puede ser posible gracias al rotomoldeo, ya que nos permite fabricar cualquier forma de una sola pieza.
- ✓ El mercado que abarca es muy restringido, es una lámpara de diseño de alta gama (su precio ronda los 500 €), por lo tanto no se van a fabricar muchas series. Esto hace que el rotomoldeo sea la técnica adecuada para la fabricación de las luminarias, ya que es un proceso no automatizado, que sale rentable cuando se trata de series cortas.

### 3.2.1. FABRICACIÓN DEL MOLDE MEDIANTE PROCESO DE FUNDICIÓN

La fundición en arena requiere un modelo a tamaño natural de madera, plástico y metales que define la forma externa de la pieza que se pretende reproducir y que formará la cavidad interna en el molde.

En lo que atañe a los materiales empleados para la construcción del modelo, se puede emplear desde madera o plásticos como el uretano y el poliestireno expandido (EPS) hasta metales como el aluminio o el hierro fundido.

Para el **diseño del modelo** se debe tener en cuenta una serie de medidas derivadas de la naturaleza del proceso de fundición:

- Debe ser ligeramente más grande que la pieza final, ya que se debe tener en cuenta la contracción de la misma una vez se haya enfriado a temperatura ambiente. El porcentaje de reducción depende del material empleado para la fundición.

A esta dimensión se debe dar una sobre medida en los casos en el que se dé un proceso adicional de maquinado o acabado por arranque de viruta.

- Las superficies del modelo deberán respetar unos ángulos mínimos con la dirección de desmoldeo (la dirección en la que se extraerá el modelo), con objeto de no dañar el molde de arena durante su extracción. Este ángulo se denomina *ángulo de salida*. Se recomiendan ángulos entre 0,5º y 2º.
- Incluir todos los canales de alimentación (bebederos) y mazarotas necesarios para el llenado del molde con el metal fundido.

- Si es necesario incluirá **portadas**, que son prolongaciones que sirven para la colocación del macho.

Los moldes, generalmente, se encuentran divididos en dos partes, la parte superior denominada **cope** y la parte inferior denominada **draga** que se corresponden a sendas partes del molde que es necesario fabricar. **Los moldes se pueden distinguir:**

- **Moldes de arena verde:** estos moldes contienen arena húmeda.
- **Moldes de arena fría:** usa aglutinantes orgánicos e inorgánicos para fortalecer el molde. Estos moldes no son cocidos en hornos y tienen como ventaja que son más precisos dimensionalmente pero también más caros que los moldes de arena verde.
- **Moldes no horneados:** estos moldes no necesitan ser cocidos debido a sus aglutinantes (mezcla de arena y resina). Las aleaciones metálicas que típicamente se utilizan con estos moldes son el latón, el hierro y el aluminio.

Las **etapas** que se diferencian en la **fabricación de una pieza metálica por fundición en arena** comprende:

- **Compactación de la arena alrededor del modelo en la caja de moldeo.** Para ello primeramente se coloca cada semimodelo en una tabla, dando lugar a las llamadas tablas modelo, que garantizan que posteriormente ambas partes del molde encajen perfectamente.

Actualmente se realiza el llamado moldeo mecánico, consistente en la compactación de la arena por medios automáticos, generalmente mediante pistones (uno o varios) hidráulico o neumático.

- **Colocación del macho o corazones.** Si la pieza que se quiere fabricar es hueca, será necesario disponer machos, también llamados corazones que eviten que el metal fundido rellene dichas oquedades. Los machos se elaboran con arenas especiales debido a que deben ser más resistentes que el molde, ya que es necesario manipularlos para su colocación en el molde. Una vez colocado, se juntan ambas caras del molde y se sujetan. Siempre que sea posible, se debe prescindir del uso de estos corazones ya que aumentan el tiempo para la fabricación de una pieza y también su coste.

- **Colada.** Vertido del material fundido. La entrada del metal fundido hacia la cavidad del molde se realiza a través de la copa o bebedero de colada y varios canales de alimentación. Estos serán eliminados una vez solidifique la pieza. Los gases y vapores generados durante el proceso son eliminados a través de la arena permeable.

- **Enfriamiento y solidificación.** Esta etapa es la más crítica de todo el proceso, ya que un enfriamiento excesivamente rápido puede provocar tensiones mecánicas en la pieza, e incluso la aparición de grietas, mientras que si es demasiado lento disminuye la



productividad. Además un enfriamiento desigual provoca diferencias de dureza en la pieza. Para controlar la solidificación de la estructura metálica, es posible localizar placas metálicas enfriadas en el molde. También se puede utilizar estas placas metálicas para promover una solidificación direccional. Además, para aumentar la dureza de la pieza que se va a fabricar se pueden aplicar tratamientos térmicos o tratamientos de compresión.

- **Desmoldeo.** Rotura del molde y extracción de la pieza. En el desmoldeo también debe retirarse la arena del macho. Toda esta arena se recicla para la construcción de nuevos moldes.
- **Desbarbado.** Consiste en la eliminación de los conductos de alimentación, mazarota y rebarbas procedentes de la junta de ambas caras del molde.
- **Acabado y limpieza** de los restos de arena adheridos. Posteriormente la pieza puede requerir mecanizado, tratamiento térmico etc.

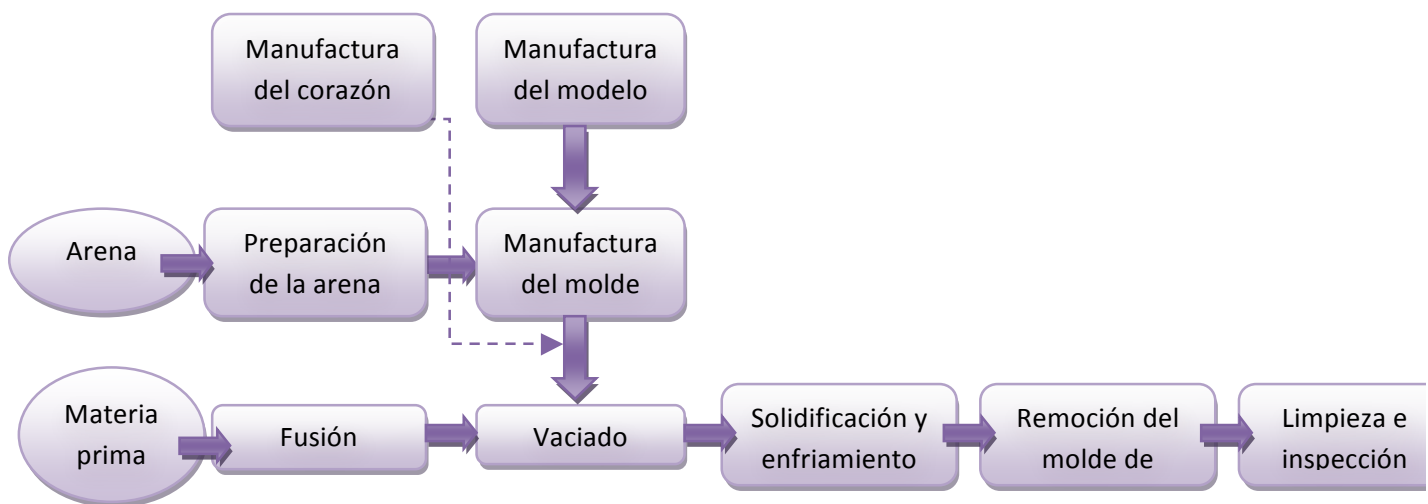


Los procesos de fundición del metal se dividen en dos categorías de acuerdo al tipo de moldes: moldes desechables y moldes permanentes. En las operaciones de **fundición con molde desechable**, éste se destruye para remover la parte fundida, como se requiere un nuevo molde por cada nueva fundición, las velocidades de producción son limitadas, ya que se requiere más tiempo para hacer el molde que para la fundición en si, sin embargo, para ciertas partes se pueden producir moldes y fundiciones a velocidades de 400 partes por hora o mayores. En los procesos de **molde permanente**, el molde se fabrica con metal (u otro material durable) que permite usarlos en repetidas operaciones de fundición. En

consecuencia, estos procesos tienen una ventaja natural para mayores velocidades de producción.

La fundición en arena es el proceso más utilizado, la producción por medio de este método representa la mayor parte del tonelaje total de fundición. Casi todas las aleaciones pueden fundirse en arena; de hecho, es uno de los pocos procesos que pueden usarse para metales con altas temperaturas de fusión, como son el acero, el níquel y el titanio. Su versatilidad permite fundir partes muy pequeñas o muy grandes y en cantidades de producción que van de una pieza a millones de éstas.

La fundición en arena consiste en vaciar el metal fundido a un molde de arena, dejarlo solidificar y romper después el molde para remover la fundición. Posteriormente la fundición pasa por un proceso de limpieza e inspección, pero en ocasiones requiere un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades metalúrgicas. En esta breve descripción se puede observar que la fundición en arena no solamente incluye operaciones de fundición, sino también la fabricación de modelos y manufactura de moldes.



### 3.2.1.1. DISEÑO DE LA PREFORMA

- INTRODUCCIÓN A LA CREACIÓN DE PREFORMAS

La fundición en arena requiere un **patrón o modelo** al tamaño de la parte, ligeramente agrandado, tomando en consideración la contracción y las tolerancias para el maquinado de la pieza final. Los materiales que se usan para hacer estos modelos incluyen la madera, los plásticos y los metales.

La **madera** es un material común para modelos, por la facilidad de trabajarla y darle forma. Sus desventajas son la tendencia a la torsión y al desgaste por la abrasión de la arena que se compacta a su alrededor, lo cual limita el número de veces que puede usarse.

Los modelos de **metal** son más costosos pero duran más.

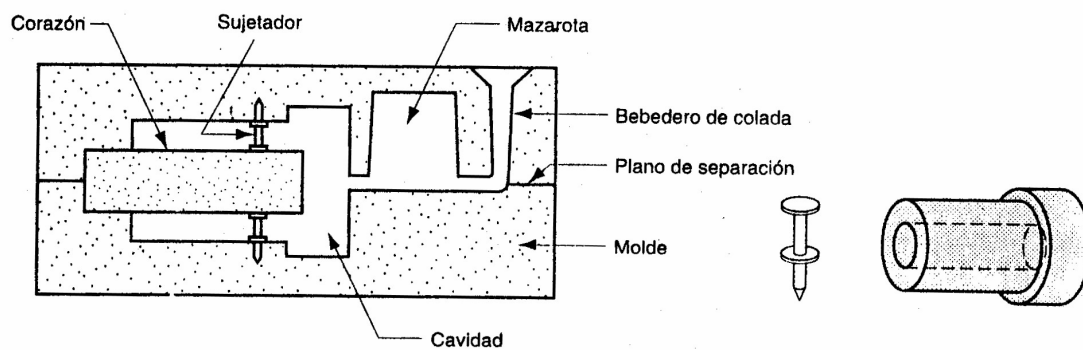
Los **plásticos** representan un término medio entre la madera y los metales.

La selección del material apropiado para patrones o modelos depende en gran parte de la cantidad total de piezas a producir.

Hay varios tipos de modelos, el más simple está hecho de una pieza, llamado **modelo sólido**, que tiene la misma forma de la fundición y los ajustes en tamaño por contracción y maquinado. Su manufactura es fácil, pero la complicación surge cuando se utiliza para hacer el molde de arena. Determinar la localización del plano de separación entre las dos mitades del molde e incorporar los bebederos y las mazaratas, es más complicado. Por tanto, los modelos sólidos se usan solamente en producciones de muy baja cantidad y cuando las piezas son de formas muy simples.

Los **modelos divididos** constan de dos piezas que separan la pieza a lo largo de un plano, éste coincide con el plano de separación del molde. Los modelos divididos son apropiados para partes de forma compleja y cantidades moderadas de producción. El plano de separación del molde queda predeterminado por las dos mitades del molde, más que por el juicio del operador. Para altos volúmenes de producción se emplean los modelos con placa de acoplamiento o los modelos de doble placa (superior e inferior). En un modelo con placa de acoplamiento, las dos piezas del modelo dividido se adhieren a los lados opuestos de una placa de madera o metal. Los agujeros de la placa permiten una alineación precisa entre la parte superior y el fondo (*cope y drag*) del molde. Los modelos con *doble placa de acoplamiento* son similares a los patrones con una placa, excepto que las mitades del patrón dividido se pegan a placas separadas, de manera que las secciones de la parte superior e inferior del molde se puedan fabricar independientemente, en lugar de usar la misma herramienta para ambas

Los patrones definen la forma externa de la fundición. Si posee superficies internas, se necesita un corazón para definir las. Un **corazón** es un modelo de tamaño natural de las superficies interiores de la parte. El corazón se inserta en la cavidad del molde antes del vaciado, para que al fluir el metal fundido, solidifique entre la cavidad del molde y el corazón, formando así las superficies externas e internas de la fundición. El corazón se hace generalmente de arena compactada. El tamaño real del corazón debe incluir las tolerancias para contracción y maquinado lo mismo que el patrón. El corazón, dependiendo de la forma, puede o no requerir soportes que lo mantengan en posición en la cavidad del molde durante el vaciado. Estos soportes, llamados *sujetadores*, se hacen de un metal cuya temperatura de fusión sea mayor que la de la pieza a fundir. Por ejemplo, para fundiciones de hierro colado se usan sujetadores de acero. Los sujetadores quedan atrapados en la fundición durante el vaciado y la solidificación. En la siguiente figura se muestra un posible arreglo del corazón usando sujetadores. La porción de los sujetadores que sobresalen de la fundición se recortan después.

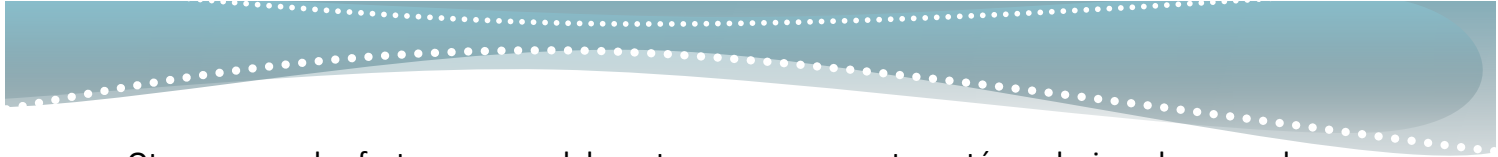


- Partes de un molde de arena para fundición -

La realización de la plantilla no es cosa de improvisadores, sino que hay que tener en cuenta diversos factores para obtener los resultados requeridos:

En primer lugar la plantilla deberá poder extraerse del molde sin romperlo, por ello:

- A. Todas las superficies deben tener buen acabado para evitar que se arrastre el material del molde, por ejemplo la arena, al sacarlo.
- B. La forma de la plantilla debe ser tal que la parte mas ancha de su sección corresponda a la zona de división de las cajas de moldeo, de esta forma puede ser extraída sin mucha dificultad. Si este precepto no se cumple, y la dimensión mayor está soterrada en la arena, necesariamente se romperá el molde al extraer la plantilla. Cuando las piezas son muy complejas hay que acudir a plantillas de múltiples piezas, algunas de las cuales (llamadas corazones), solo sirven como cuñas de separación entre las partes y deben ser sacadas primero para que la plantilla disminuya sus dimensiones y pueda ser extraída.
- C. Las plantillas deben estar cortadas simétricamente para que cada una de las mitades se quede en el material de la respectiva caja cuando estas se separen para extraer la plantilla. Tenga en cuenta que ambas cajas están aseguradas con espigas guía, de manera que el movimiento relativo entre ellas es solo de separación y debido a la adherencia natural de la plantilla con el material del molde es mejor que la plantilla se separe en dos antes de que arrastre material afectando el molde.
- D. Si la pieza a fabricar es una pieza hueca y por ello se colocarán machos en el molde, la plantilla debe propiciar las zonas donde se hará la posterior colocación de los soportes del macho.
- E. Incluir todos los canales de alimentación y mazarotas necesarios para el llenado del molde con el metal fundido.



Otro grupo de factores que deben tenerse en cuenta están relacionados con las dimensiones y tolerancias de las plantillas:

1. **Tolerancia para la contracción.** Se debe tener en consideración que las sustancias al enfriarse o fraguar cambian sus dimensiones, así que dependiendo del tipo de material que se esté utilizando, las medidas de las plantillas deberán ser consecuentemente mas grandes o pequeñas que las medidas finales que se esperan obtener en la pieza terminada.
2. **Tolerancia para la extracción.** Cuando se tiene una plantilla que se va a extraer es necesario moverla ligeramente para "despegarla" del material del molde, al fabricarla se debe considerar en sus dimensiones unos ángulos mínimos con la dirección de desmoldeo, con objeto de no dañar el molde de arena durante su extracción. Este ángulo se denomina ángulo de salida. Se recomiendan ángulos entre 0,5º y 2º.
3. **Tolerancia por acabado.** Cuando una pieza es fabricada en ocasiones resulta necesario realizar algún trabajo de acabado o terminado de las superficies generadas, esto se logra puliendo o quitando algún material de las piezas producidas por lo que se debe considerar en la plantilla esta rebaja de material.
4. **Tolerancia de distorsión.** Cuando una pieza es de espesor irregular, su enfriamiento también es irregular, y con ello su contracción. Esta contracción irregular genera la distorsión de la pieza, estos efectos deberán ser tomados en consideración en el diseño de las plantillas.

- **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA PREFORMA PARA LA LÁMPARA.**



Para poder fabricar el molde es necesario diseñar previamente una preforma. Esta preforma debe de tener la misma forma que la pieza que queremos obtener finalmente. El material con el que se fabrica la preforma es DM, aunque se puede fabricar de multitud de materiales como por ejemplo de plástico o metal.

Todo el proceso de fabricación de la preforma en Rotoformas es manual, de modo que, se corta la madera con la sierra de calar en diferentes láminas, para ello se parte del modelo 3d, que se fragmenta en varios cortes horizontales para tomar las medidas con las que debemos cortar las diferentes láminas.



Una vez que tenemos cortada la madera en láminas, se pegan con cola para unirlos. Cuando la cola ya ha secado, se procede a lijar toda la superficie hasta que quede homogénea.

A la preforma de madera se le añade fibra de vidrio para reforzar, sobre todo en aquellas partes en las que el espesor no es muy grueso, ya que la preforma va a quedar sumergida en un montón de arena muy pesada.



Además a la preforma también se la impregna de una pintura desmoldeante para que se pueda extraer bien de la arena.





- Modelo en DM de barreras de seguridad para tráfico -



- Modelo en DM de la parte interior de la luminaria -



- Modelo en DM de la parte exterior de la luminaria -



### 3.2.1.2. FABRICACIÓN DEL MOLDE MEDIANTE FUNDICIÓN

Existen varios tipos diferentes de moldes que se usan en la industria de rotomoldeo:

- a. Moldes de aluminio vaciado
- b. Moldes de lámina soldada
- c. Moldes electroconformados
- d. Moldes maquinados

Para la fabricación de la lámpara se utiliza un molde de aluminio vaciado, a continuación se detalla más a fondo el proceso que se sigue para realizar una pieza mediante fundición de aluminio.

- **INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE FUNDICIÓN**

Una vez que tenemos la pieza modelo se entierra en la arena, de manera que en la arena se reproduzca la cavidad de la pieza que queremos obtener por fundición, que en ese caso será una de las mitades del molde que se va a montar luego en la máquina de rotomoldeo.

La arena de fundición es sílice ( $\text{SiO}_2$ ) o sílice mezclada con otros minerales. Esta arena debe tener buenas propiedades refractarias, expresadas como la capacidad de resistir altas temperaturas sin fundirse o degradarse. Otras características importantes son: el tamaño del grano, la distribución de tamaños del grano en la mezcla y la forma de los granos. Los granos pequeños proporcionan mejor acabado superficial en la fundición, pero los granos grandes son más permeables, para que los gases escapen durante el vaciado. Los moldes hechos de granos irregulares tienden a ser más fuertes que los moldes de granos redondos debido al entrelazado de los granos, pero esto tiende a restringir la permeabilidad. En la fabricación del molde, los granos de arena se aglutinan por medio de una mezcla de agua y arcilla. La proporción típica (en volumen) es 90% de arena, 3% de agua y 7% de arcilla. Se pueden usar otros agentes aglutinantes en lugar de la arcilla, como resinas orgánicas (por ejemplo resinas fenólicas) y aglutinantes inorgánicos (por ejemplo, silicato y fosfato de sodio). Algunas veces se añaden a la mezcla de arena y aglutinante ciertos aditivos para mejorar las propiedades del molde como la resistencia y permeabilidad. En el método tradicional para formar la cavidad del molde se compacta la arena alrededor del modelo en la parte superior e inferior de un recipiente llamado **caja de moldeo**. El proceso de empaque se realiza por varios métodos. El más simple es el apisonado a mano realizado manualmente por un operario. Además, se han desarrollado varias máquinas para mecanizar el procedimiento de empackado, las cuales operan por medio de los siguientes mecanismos:

- 1) Compactación de la arena alrededor del patrón o modelo mediante presión neumática.
- 2) Acción de sacudimiento, dejando caer repetidamente la arena contenida en la caja junto al modelo, a fin de compactarla en su lugar.
- 3) Lanzamiento, haciendo que los granos de arena se impacten contra el patrón a alta velocidad.

Se usan varios indicadores para determinar la calidad de la arena para el molde:

**1) Resistencia**, capacidad del molde para mantener su forma y soportar la erosión causada por el flujo del metal líquido, depende del tamaño del grano, las cualidades adhesivas del aglutinante y otros factores.

**2) Permeabilidad**, capacidad del molde para permitir que el aire caliente y los gases de fundición pasen a través de los poros de la arena.

**3) Estabilidad térmica**, capacidad de la arena en la superficie de la cavidad del molde para resistir el agrietamiento y encorvamiento en contacto con el metal fundido.

**4) Retractibilidad**, capacidad del molde para dejar que la fundición se contraiga sin agrietarse; también se refiere a la capacidad de remover la arena de la fundición durante su limpieza.

**5) Reutilización**, ¿puede reciclarse la arena del molde roto para hacer otros moldes?. Estas medidas son algunas veces incompatibles, por ejemplo, un molde con una gran resistencia tiene menos capacidad de contracción. Los moldes de arena se clasifican frecuentemente como arena verde, arena seca o de capa seca.

Los **moldes de arena verde** se hacen de una mezcla de arena, arcilla y agua, el término "verde" se refiere al hecho de que el molde contiene humedad al momento del vaciado. Los moldes de arena verde tienen suficiente resistencia en la mayoría de sus aplicaciones, así como buena retractsibilidad, permeabilidad y reutilización, también son los menos costosos. Por consiguiente, son los más ampliamente usados, aunque también tienen sus desventajas. La humedad en la arena puede causar defectos en algunas fundiciones, dependiendo del metal y de la forma geométrica de la pieza.

Un **molde de arena seca** se fabrica con aglomerantes orgánicos en lugar de arcilla. El molde se cuece en una estufa grande a temperaturas que fluctúan entre 204 °C y 316 °C. El cocido en estufa refuerza el molde y endurece la superficie de la cavidad. El molde de arena seca proporciona un mejor control dimensional en la fundición que los moldes de arena verde. Sin embargo, el molde de arena seca es más costoso y la velocidad de producción es reducida debido al tiempo de secado. Sus aplicaciones se limitan generalmente a fundiciones de tamaño medio y grande y en velocidades de producción bajas.

En los **moldes de capa seca**, la superficie de la cavidad de un molde de arena verde se seca a una profundidad entre 10 mm y 25 mm, usando sopletes, lámparas de calentamiento u otros medios, aprovechando parcialmente las ventajas del molde de arena seca. Se pueden añadir materiales adhesivos especiales a la mezcla de arena para reforzar la superficie de la cavidad. La clasificación precedente de moldes se refiere al uso de aglutinantes convencionales, ya sea agua, arcilla u otros que requieren del calentamiento para curar.

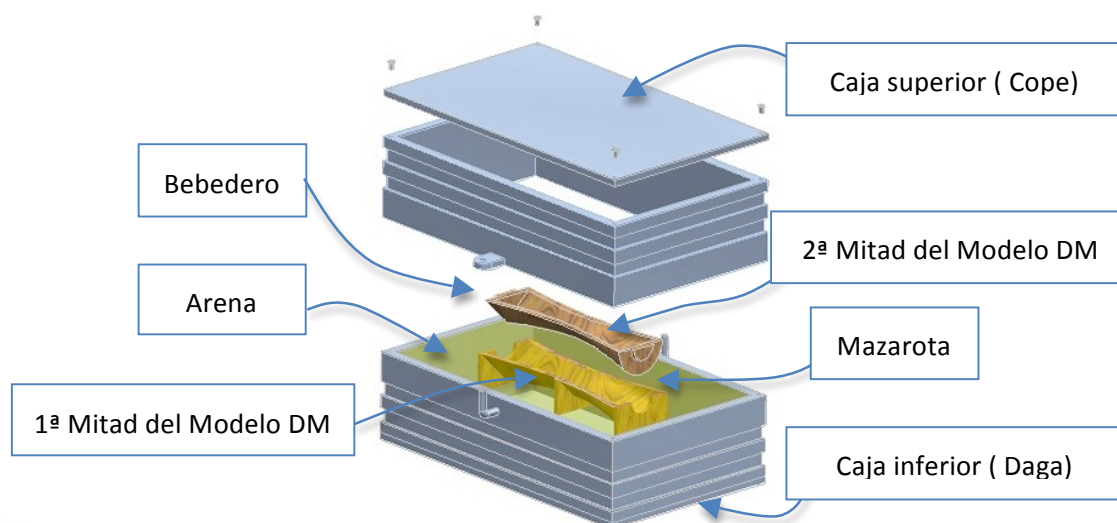
Se han desarrollado también **moldes no horneados**, que no necesitan ser cocidos debido a sus aglutinantes (mezcla de arena y resina). Algunos de estos materiales aglutinantes, utilizados en sistemas que no requieren cocimiento, incluyen las resinas furánicas (que consisten en alcohol furfural, urea y formaldehído), las fenólicas y los aceites alquídicos. La popularidad de los moldes que no requieren cocimiento está creciendo debido a su buen control dimensional en aplicaciones de alta producción.

- **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN PARA REALIZAR EL MOLDE DE LA LÁMPARA.**

Una vez que ya tenemos la pieza modelo fabricada en DM, se sitúa en el centro de la caja que está colocada debajo de la máquina mezcladora. Además de la pieza modelo habrá que introducir los canales de alimentación (bebederos y mazarotas) también fabricados de madera. La máquina mezcladora mezcla la arena, la resina y el catalizador, y los desprende como una especie de arena mojada sobre el modelo que se encuentra en la caja.

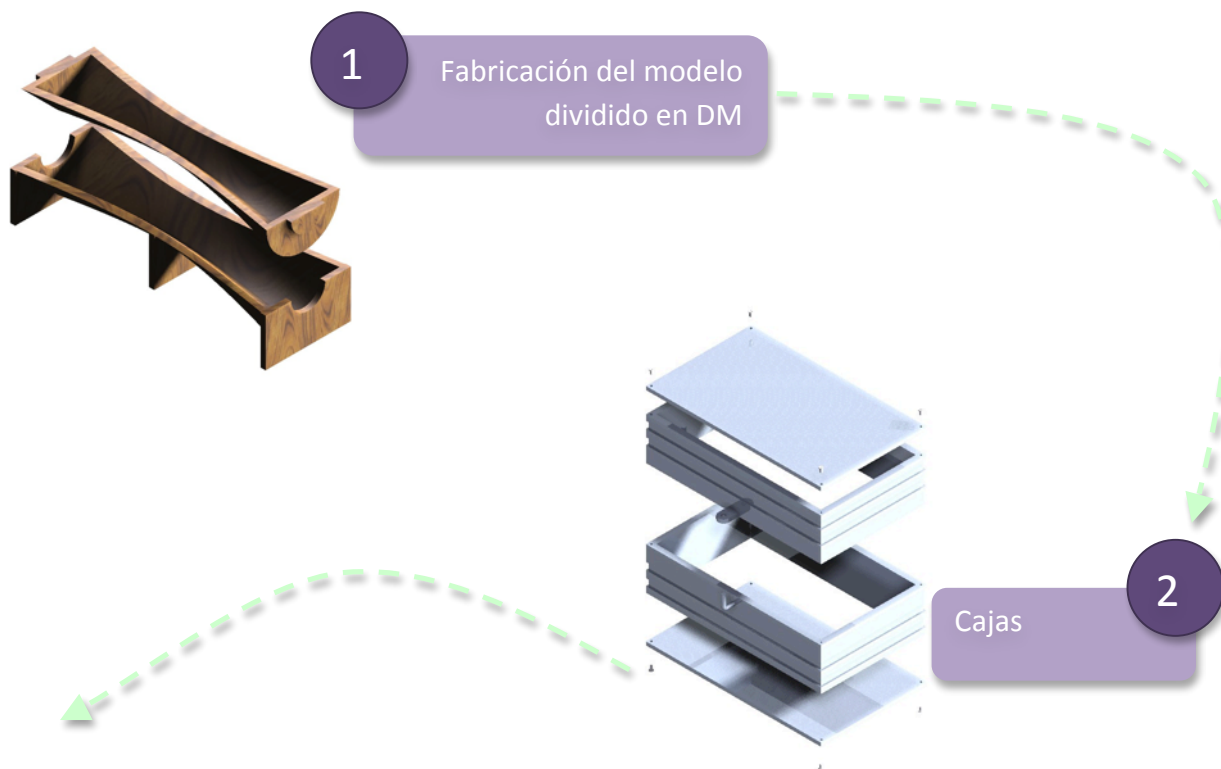
Una vez que la arena ha compactado y ha quedado seca, se extrae la pieza modelo y se procede a realizar la colada en el molde de arena.

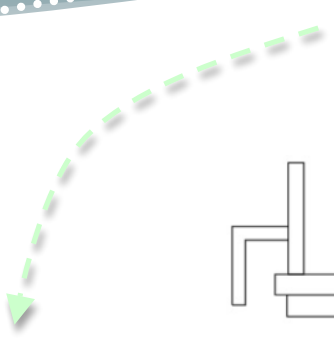
En la imagen inferior se muestran los elementos utilizados en la empresa Rotoformas para realizar el molde que luego ira montado en la máquina de rotomoldeo.




- Elementos necesarios para realizar el molde de arena de la luminaria -

A continuación se muestra el proceso a seguir para obtener un molde de arena a partir de un modelo en madera DM, para después obtener mediante fundición la pieza que será parte del molde para la máquina de rotomoldeo.

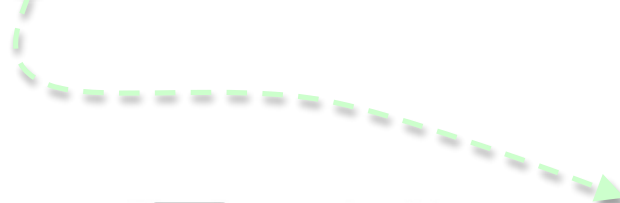





3 Posicionar la mitad del modelo en la caja inferior o daga, y verter arena




4 Compactar bien la arena, y cerrar la caja con la tapa



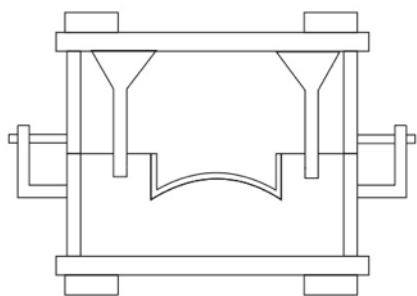
5 Dar la vuelta a la caja y abrirla



6 Posicionar la otra mitad del modelo sobre el anterior, de forma que case



7 Poner la caja superior o cope sobre la caja inferior y añadir el canal de alimentación (bebedero) y la mazarota

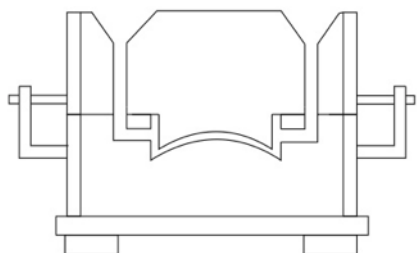
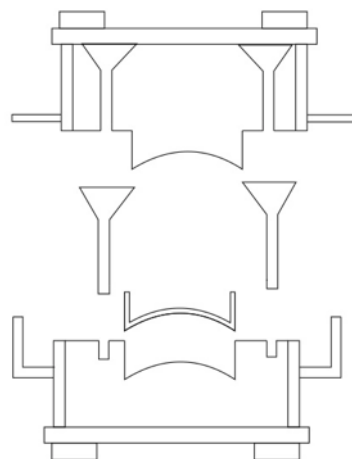


Se llena de arena la caja superior de forma que quede bien compactada, y se pone la tapa encima de la caja para cerrarla

8

Una vez que la arena ya ha quedado compacta, se abre la caja para extraer las piezas de

8



Se vuelve a cerrar la caja y se introduce la fundición de aluminio de manera que rellene la cavidad

9

Cuando se enfría el aluminio fundido, se abre la caja y se destruye la arena para sacar la pieza

10



Una vez que tenemos la pieza de aluminio se procede al desbarbado y limpieza eliminando mazarotas y bebederos. La parte interior del molde, que es a la que se va a pegar el plástico fundido, se deja con un acabado superficial muy fino.

11

Para poder realizar la colada es necesario un horno de fundición o crisol, en el que se introduce el aluminio en forma de lingotes. Además de aluminio se puede introducir aditivos como por ejemplo titanio para reforzar el aluminio y dar más rigidez al molde.



- Lingotes de aluminio -

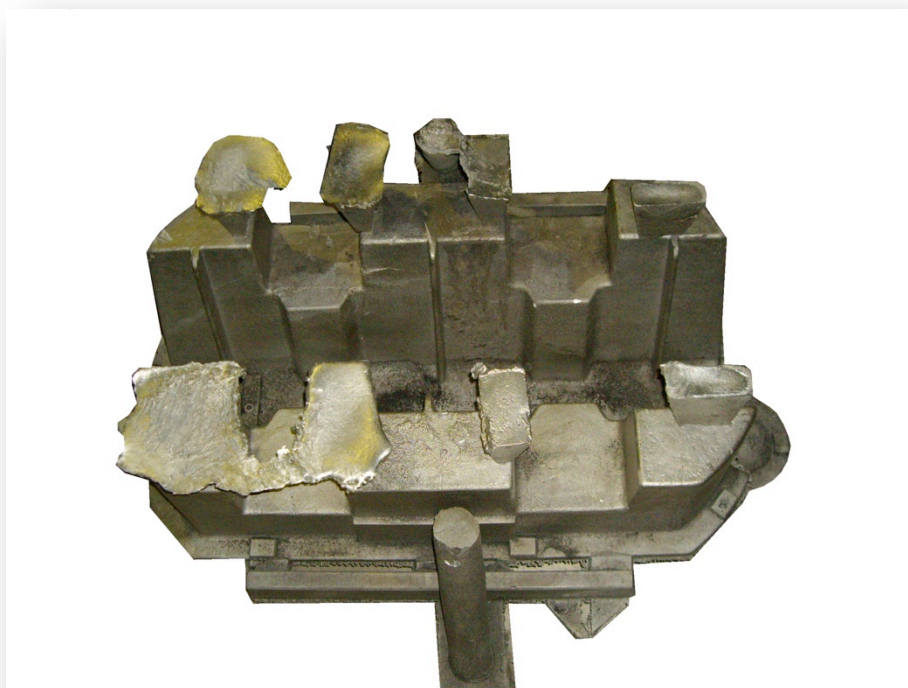
El horno de fundición o crisol para llegar a fundir el aluminio alcanza temperaturas de 650°C. La energía que utiliza el horno para calentar el material es gas o gasoil. En la empresa Rotoformas utilizan un horno de gasoil que tiene una capacidad de 600 Kg. El aluminio una vez fundido en el crisol, pasa a la cuchara que lo vierte en el molde de arena. El material sobrante se vierte a la lingotera, que vuelve a reproducir la forma de los lingotes cuando sobra material.



- Horno de fundición o crisol -

Una vez que se ha enfriado el aluminio, se rompe la arena para sacar la pieza que queríamos obtener, es decir, el molde que irá montado en la máquina de rotomoldeo.





*- Molde recién sacado de la arena -*

Pero la pieza de aluminio que sale del molde de arena, no está lista para utilizar, sino que habrá que eliminar las mazarotas y bebederos, además de pulir la superficie interior del molde, ya que va a ser la que va a dar forma al producto final, y es muy importante que tenga un buen acabado superficial.

Para pulir la superficie se utiliza maquinaria de mano, como la amoladora y el rotalín.



*- Amoladora -*



*- Rotalín -*



*- Molde de aluminio una vez realizadas operaciones de devastado -*



*- Molde de aluminio para la luminaria -*

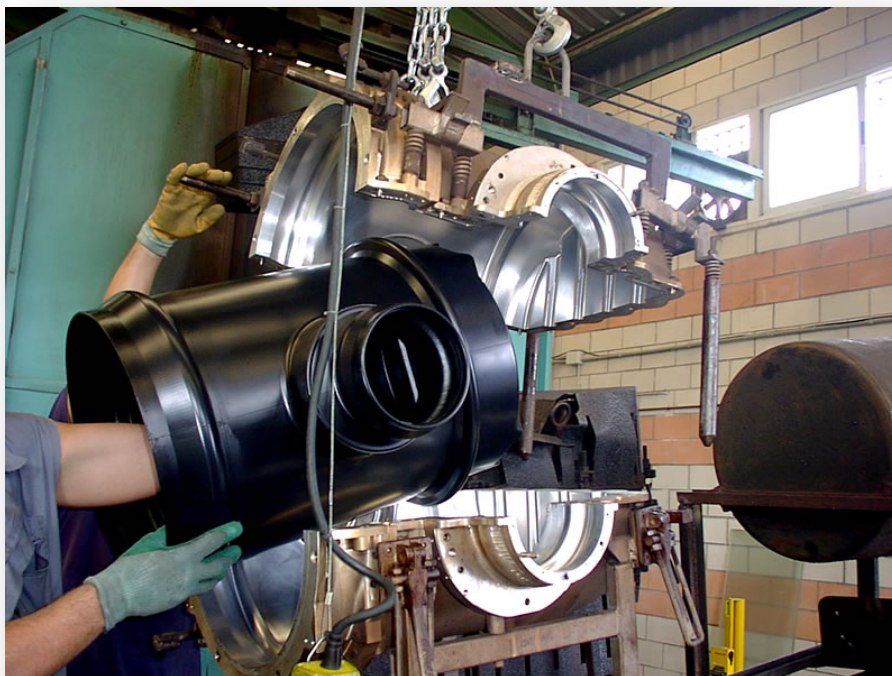
Una vez que tenemos el molde fabricado, hay que ponerle todos los elementos necesarios para agarrarlo al plato de la máquina de rotomoldeo.

### 3.2.2. PARTES PRINCIPALES DE UN MOLDE PARA ROTOMOLDEO

Antes de proceder a montar el molde en la máquina de rotomoldeo se realiza un desbarbado y limpieza. La superficie interna del molde tiene que quedar con un acabado superficial muy fino, ya que va a ser la que reproduzca la cavidad interna, además se le aplica un tratamiento superficial para mejorar el desmoldeo de la pieza.

En la estructura de un molde para rotomoldeo hay que tener en cuenta las siguientes partes:

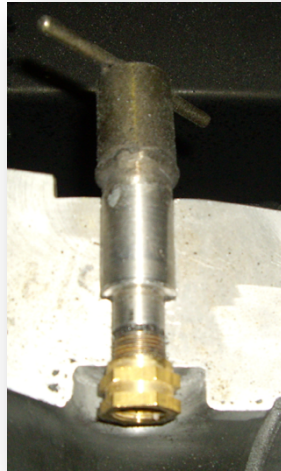
- Insertos
- Ventilación del molde: Tubos de Venturí y tubos de Teflón.
- Acabados superficiales
- Estructura de soporte o marco de sujeción
- Mecanismos de cierre
  - Mordazas, pinzas de presión y tornillos
  - Bridas



- Extracción de una pieza fabricada por rotomoldeo -

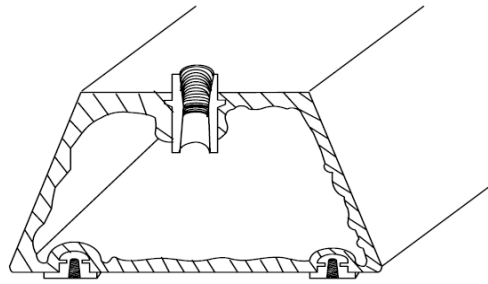
### 3.2.2.1. INSERTOS

Junto con todas sus otras buenas características, el rotomoldeo resulta ser casi el mejor de todos los procesos termoplásticos al incorporar insertos en una parte moldeada.



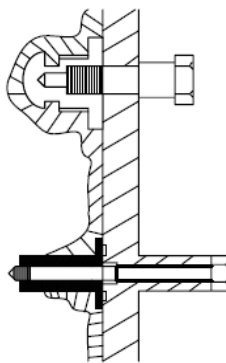
*- Posicionamiento del inserto en el molde -*

Los insertos completos o ciegos como se muestra en la siguiente figura, pueden ser de acero al carbón, bronce, aluminio, acero inoxidable, plástico y hasta madera. Se debe tener mucho cuidado al seleccionar el material para un inserto, este debe cumplir químicamente compatible con el plástico que se va a utilizar y resistir la temperatura del horno. Debe de evitarse los insertos de gran tamaño y aquellos con esquinas filosas ya que pueden provocar agrietamientos por esfuerzos conforme la parte se enfría y se encoge firmemente sobre el inserto. Los insertos deben asegurarse firmemente al molde y deben estar perfectamente en posición, y además deben de resistir la temperatura a la que se trabajara el molde. Los insertos de metal incorporados durante el moldeo tendrán máximo torque y fuerza de anclaje si son calentados hasta el punto en que el plástico se funde. Así el plástico se adhiere al inserto como lo hace a la cavidad. Una manera de lograr este objetivo es usando un inserto con una base ancha para lograr una buena transferencia de calor de la cavidad.



*- Insertos ciegos e insertos con perforación de lado a lado -*

Otra forma de controlar el calor transferido al inserto es mediante una muesca en la cavidad para reducir el área de contacto entre la cavidad y el inserto como se muestra en la parte inferior de la siguiente figura.



*- Formas para facilitar y para reducir la transferencia de calor -*

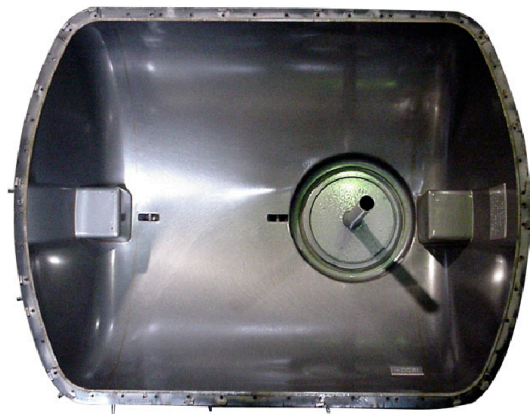
Tanto fabricantes de moldes, como moldeadores y operadores de máquinas, deben de ser muy ingeniosos para encontrar maneras convenientes de posicionar y liberar los insertos, incorporados durante el moldeo. Los sujetadores roscados son probablemente el método más común, sin embargo también se han usado resortes, imanes, mordazas acodadas, retenes y hasta simple fricción con gran éxito. Los moldeadores han reportado factores de encogimiento del plástico durante su enfriamiento dentro del molde de hasta de 1% entre insertos, al mismo tiempo el resto de la parte tiene un encogimiento dentro del molde de 2.5%. Un método sencillo para enfrentar este problema es proporcionar movimiento en los insertos para que no impidan que el material plástico se encoja normalmente. Para el diseño de piezas rotomoldeadas, siempre se recomienda comentar con el fabricante de moldes, la mejor manera de manejar las secciones sueltas de la cavidad, los machos removibles y los insertos antes de iniciar la construcción del molde.



### 3.2.2.2. VENTILACIÓN DEL MOLDE

El molde en la gran mayoría de los casos requiere ventilación para mantener la presión atmosférica dentro de la cavidad. Un buen enfoque sobre estas ventilaciones es incorporarlas en el molde desde el inicio de la construcción del mismo. En la actualidad, se ha incrementado el rotomoldeado de piezas de plástico con una atmósfera inerte, de nitrógeno o de bióxido de carbono, dentro de la cavidad. Las boquillas de inyección de gas, los distribuidores, las válvulas y en general toda la plomería necesaria, también se puede incorporar desde el inicio de la construcción del molde. El moldeador y el fabricante de moldes deben llegar a un acuerdo acerca del tamaño y la ubicación de las ventilaciones o boquillas de inyección de gas, antes de iniciar toda la construcción.

Por lo tanto a la hora de diseñar el molde es muy importante dejar un orificio para la salida de gases. En este orificio se coloca un tubo con teflón y dentro del **tubo de teflón** una especie de esparadrapo.



- Cavidad del molde de aluminio con el tubo de teflón colocado -

También se suelen colocar **tubos de venturi** en el exterior del molde para que llegue el calor a zonas difíciles o huecas.



- Tubo de Venturi -

### 3.2.2.3. ACABADOS SUPERFICIALES EN LA CAVIDAD

Los distintos tipos de moldes usados para el proceso de rotomoldeo pueden ser **pulidos**, **grabados** o limpiados con chorro de arena (**sand-blast**) o con varios otros tipos de materiales, sin embargo para ciertos acabados algunos tipos de cavidades son mejores que otras. Las cavidades de acero maquinadas o de lámina son las que aceptan el mejor pulido. Las cavidades electroformadas o vaciadas pueden ser pulidas a terminado de espejo; sin embargo la presencia ocasional de porosidad es un limitante. Muchas partes destinadas al mercado industrial no requieren de un gran terminado de la superficie. Estas cavidades generalmente tendrán lo que se define como “**terminado industrial**”. Un terminado industrial generalmente se refiere a que la cavidad será pulida a mano con lija fina de arena. Por lo tanto se puede esperar que queden marcas de corte o pulido del proceso de acabado.

Los mejores procesos para el acabado de los moldes son el **electroconformado o vaciado** que son la mejor opción para duplicar la textura del molde original. Hay otros tipos comunes en la fabricación y acabados esto son los fabricados en lamina, hechos por **hojas pretexturizadas** disponibles comercialmente; pero las uniones de soldadura siguen siendo el problema.

Con todos los tipos de moldes se pueden limpiar y texturizar las cavidades mediante *sand-blast*. El acabado de pulido fino será el más caro de obtener y mantener. Los variados acabados de superficies por sand-blast son más baratos y rápidos. Una de las cosas que se debe de considerar es el terminado industrial, que es la técnica de acabado más ampliamente usada por ser la más fácil de aplicar y a su vez la más barata. Una de las consideraciones más importante a tomar en la fabricación y diseño del molde es el acabado de la cavidad que varía desde un sand-blast hasta un pulido muy fino.

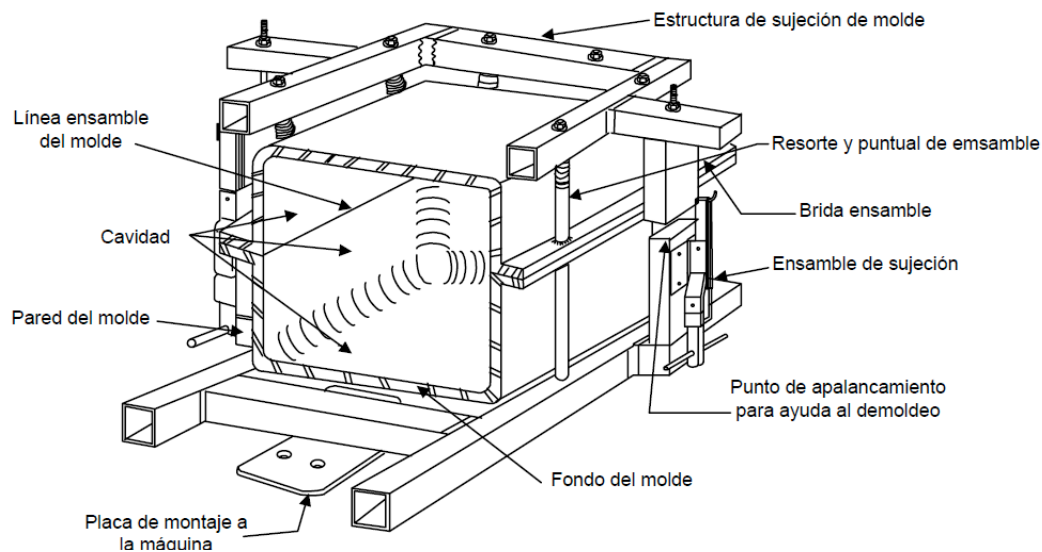
Además se le puede dar una textura determinada al molde si queremos conseguir algún efecto especial en el plástico, como puede ser una textura que imite a la madera o conseguir una textura rugosa, para ello se lleva a texturizar. En Rotoformas cuando se trata de obtener una textura o un acabado específico, el molde se lleva a otro sitio a texturizar, granallar o teflonar.

A la superficie interior del molde también hay que aplicarle una capa de cera para que la pieza pueda ser desmoldeada con más facilidad y se produzcan menos defectos superficiales. Para ello se calienta el molde a 50-80°C para que la cera agarre.

También existen aerosoles de silicona, que facilitan el desmoldeo y ayudan al material a que fluya mejor por las paredes del mode.



#### 3.2.2.4. ESTRUCTURAS DE SOPORTE



- Estructura soporte de un molde para rotomoldeo -

**Estructura de sujeción:** Formada por perfiles tubulares de sección cuadrada, es la estructura principal a la que va unida el molde mediante todo tipo de elementos de sujeción (bridas, tornillos, mordazas...).

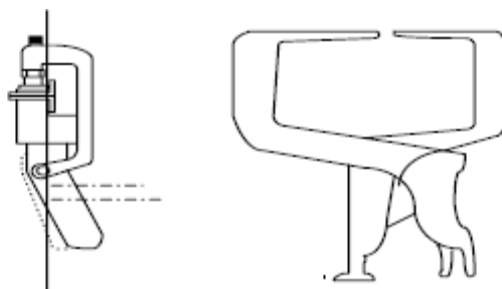
El montaje del molde en la estructura de sujeción puede consistir desde una simple placa de acero atornillada al brazo de la máquina y fijada en alguna forma a la cavidad, hasta una complicada estructura de tubo de acero que dé soporte a la cavidad y a los mecanismos de sujeción. La mayoría de marcos o estructuras son fabricados de acero. En algunos casos de acero inoxidable para prevenir corrosión, y así proporcionar una larga vida de servicio. Debido a que algunos materiales al derramarse y luego calentarse excesivamente se descomponen y generan compuestos químicos que provocan corrosión en todas las partes del molde y estructura. Por eso los marcos de acero inoxidable son de mayor costo que los de acero al carbón, pero en algunos casos, el costo inicial agregado es justificable. Algunos fabricantes de moldes insisten que cuando se fabrica una estructura es conveniente eliminarle esfuerzos mediante un tratamiento térmico en el horno de secado a 260°C ó 315°C, para eliminar los esfuerzos en las soldaduras. No se debe de subestimar la importancia de un soporte de buena calidad y liberada de esfuerzos en la soldaduras, pues soporta y refuerza las cavidades del molde, esto a su vez alarga la vida útil del molde y genera menos rebaba durante la vida del molde. Otra ventaja que puede incorporar el marco al molde es el alineamiento necesario para asegurar que las dos mitades del molde estén perfectamente alineadas en la línea de separación, además proporcionará presión

uniforme de sujeción a la línea de separación de la cavidad , para evitar problemas de rebabas .

### 3.2.2.5. MECANISMOS DE CIERRE

- **Mordazas y pinzas de presión**

Hoy en día se usan muchos tipos diferentes de pinzas para líneas de separación, los tipos más comunes son la mordaza acodada, la pinza de presión y tornillos y tuercas, como se observa en las siguientes figuras.



- Mordaza acodada y pinzas de presión -



- Mordazas -

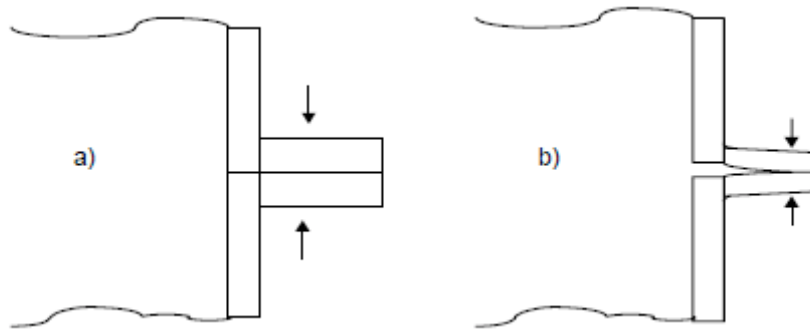


- Pinzas de presión -



- Tornillos y tuercas -

Las más convenientes son las pinzas de presión y las mordazas acodadas, sin embargo generalmente son utilizados los tornillos y tuercas que son el método más confiable para mantener presión uniforme en la línea de separación. Cuando se utilizan pinzas de sujeción deben colocarse lo más cerca posible a la pared de la cavidad, según se muestra en la siguiente figura.



- Aplicación de las pinzas de presión -

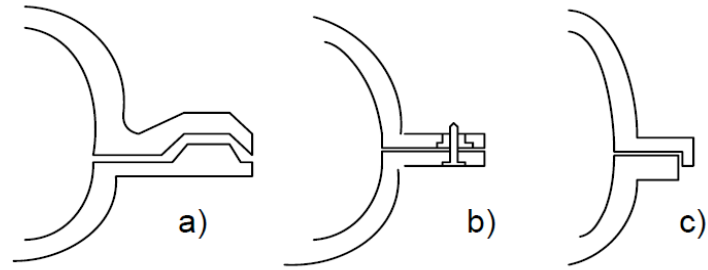
Sujetar la brida en su extremo externo provoca que se doble, y consecuentemente genera rebaba en la línea de separación, esto sucede especialmente con moldes de lámina metálica.

- **Bridas**

Estas bridas forman la línea de separación crítica donde las dos mitades del molde se encuentran. Las bridas también son elementos estructurales que proporcionan mucha de la fuerza del molde. Tanto moldeadores como fabricantes de moldes tienen marcadas preferencias por el estilo de brida a usar en el molde. No existe un acuerdo general sobre que estilo es el mejor, sin embargo es suficiente decir que todos los diferentes estilos de bridas aquí presentadas han pasado la prueba del tiempo exitosamente. Los tipos más usados y comunes de bridas en los moldes de rotomoldeo

son:

- a. Línea de separación entre la lengua y la ranura. Ejemplo en figura a
- b. Línea de separación plana con pines y casquillos. Ejemplo en figura b
- c. Línea de separación escalonada. Ejemplo en la figura c



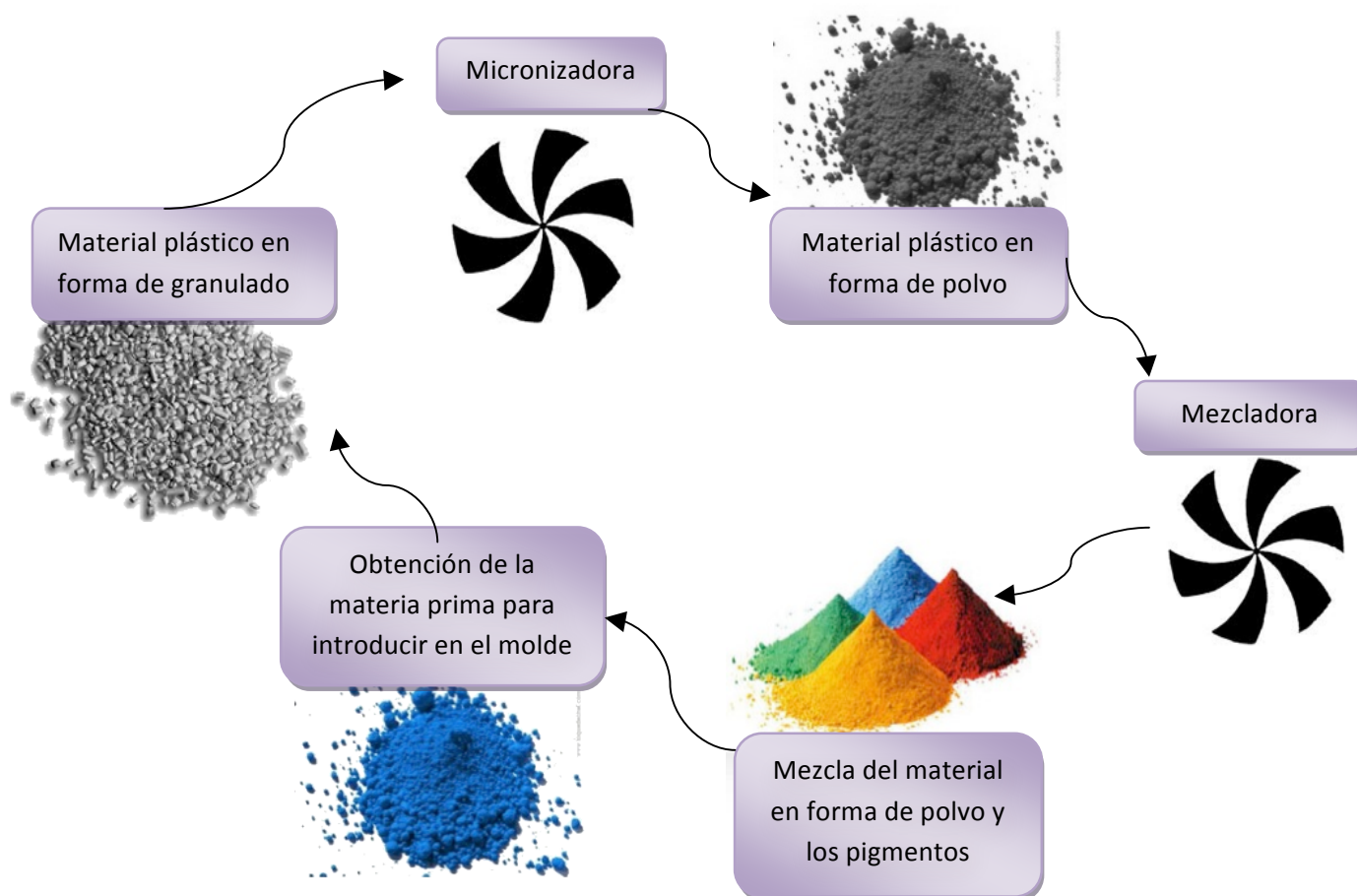
- Diferentes tipos de líneas de separación -

Las bridas escalonadas son a veces usadas en moldes vaciados para formas simples como por ejemplo las pelotas redondas. Sin embargo son más utilizadas en cavidades de lámina metálica o maquinados.

### 3.2.3. FABRICACIÓN DE LA PIEZA POR ROTOMOLDEO

#### 3.2.3.1. MEZCLADO DEL MATERIAL PLÁSTICO

Muchos proyectos requieren mezclado y dispersión del material plástico antes de moldearlo. Normalmente se compra el material plástico por un lado y el pigmento por otro lado. El material plástico se suele comprar en forma de granza, que luego se introduce en el micronizador para convertirla en polvo. Una vez que tenemos el material en forma de polvo se introduce en la mezcladora junto con el pigmento para darle color al material. Una vez que se ha logrado un color aceptable se establece un procedimiento óptimo de mezcla y no se cambia.



### 3.2.3.2. MEDICIÓN DE LA CARGA DEL MATERIAL PLÁSTICO

La cantidad del material plástico que se coloca o carga en la cavidad es otra consideración crítica. Una vez que la cavidad está construida, tiene un tamaño y un área específica. También tiene una conductividad térmica específica. El tamaño de la cavidad no cambiara pero la cantidad del plástico puesto en la cavidad puede cambiar, ya sea por accidente o por intención, esto a su vez cambiara el espesor de la pared de la parte moldeada.

En resumen una de las muchas ventajas del rotomoldeo es la habilidad de cambiar el espesor de la pared de la parte sin cambiar el molde. Un cambio en el espesor de la pared sin el correspondiente cambio de ajustes de la cámara de enfriado y calentado puede tener resultados desastrosos. Una reducción en el espesor de la pared puede resultar en sobrecalentamiento y degradación térmica del plástico. Un incremento en espesor de la pared puede producir una parte moldeada que no esté correctamente fundida. Por ejemplo, como regla general, un incremento de 0.75 mm en el espesor de una parte de nylon 6 requerirá aproximadamente dos minutos adicionales en el tiempo del horno. El polietileno requerirá 30 segundos adicionales de tiempo de ciclo para cada aumento de 0.65 mm en el espesor de la pared. Considerando la importancia de un peso de carga preciso, ahora la mayoría de los moldeadores usan un tipo de báscula o mecanismo para el peso del lote a fin de controlar la cantidad de plástico cargado en la cavidad. Estas básculas van desde electrónicas digitales muy precisas hasta equipos complejos que se encargan de introducir en cada molde el material y la cantidad precisa. La imagen que se muestra en la parte inferior, corresponde a una máquina dosificadora que es una aplicación muy útil para determinar la dosificación correcta de uno o más tipos de material en el molde. Para cada molde o combinación de moldes es posible proceder a la correcta medición mediante una simple lectura de código a barras. La planta procede al almacenaje de la dosis requerida en la celda de carga y, con distintas modalidades, lo llevará al molde. De esta manera es posible proceder a la elaboración evitando errores y derroches.

Este tipo de dosificadores existen tanto para materiales líquidos como para en polvo.



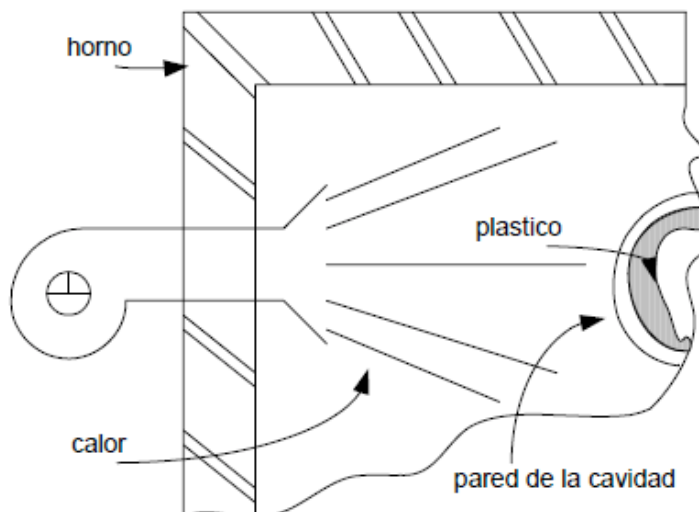
- Máquina dosificadora -

### 3.2.3.3. CIERRE DEL MOLDE

Durante el proceso de cierre del molde se deben extremar precauciones para evitar dañar el molde. Una estructura adecuadamente diseñada permitirá un buen alineamiento de las dos mitades de la cavidad y esto protegerá las líneas de separación. Cualquier polvo o líquido derramado en las líneas de separación debe ser eliminado antes de cerrar el molde. Esta es la ultima oportunidad que tiene el operador de la máquina para verificar si todos los insertos están presentes o no, ¿esta limpio el tubo de ventilación?. ¿Esta la fibra de vidrio en su lugar?. ¿Esta colocado en la posición correcta el tubo de ventilación?. El verdadero cierre del molde es el asegurar que todas las líneas de separación están empalmadas uniformemente. Apretar totalmente todos los tornillos en un lado de los moldes puede provocar sujeción incorrecta en el lado opuesto. Es una buena política sujetar el molde al mismo tiempo que las dos mitades del molde se pongan en contacto. No es raro encontrarse con el hecho de que un molde ha sido colocado en el horno sin haber sido cerrado. Esto puede provocar que la mitad superior del molde se caiga, dañando el molde y salpicando el plástico en el horno.

### 3.2.3.4. MANEJO DE LA TEMPERATURA

Si el principal objetivo de un molde es definir la forma de la parte moldeada, el segundo más importante es el manejo del calentamiento y enfriado del material plástico. Desafortunadamente el calor del horno debe pasar a través de la pared de la cavidad antes de llegar al material plástico, como se ve en la siguiente figura.



- Transmisión del calor a través del molde -



Por consiguiente la pared de la cavidad debe tener buena conductividad térmica para que el material plástico sea calentado y enfriado eficientemente. La conductividad térmica aproximada de los metales comúnmente usados en herramientas de rotomoldeo son, según la siguiente tabla. La lógica indicaría que la alta conductividad térmica del cobre lo convierte en un material ideal para rotomoldeo de cavidades. Teóricamente la alta conductividad del cobre le permitiría transferir calor hacia el plástico más rápido que un molde similar hecho de níquel o acero inoxidable.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	
MATERIAL	°F/ in
Cobre	2,5
Aluminio	1,08
Níquel	423
Acero	324
Acero inoxidable	139

*- Valores de conductividad térmica de metales comúnmente usados -*

Por consiguiente pareciera lógico asumir que el uso de una cavidad de cobre daría por resultado el tiempo del ciclo de moldeo más corto posible. Como por ejemplo las pruebas utilizando cavidades de cobre electroformadas y de níquel, del mismo espesor. Esta sorprendente situación puede explicarse al reconocer que en promedio, la conductividad térmica del polietileno es de solamente 1/10 a la del cobre, el tiempo del ciclo no es definido por la conductividad del metal en la pared de la cavidad sino por la conductividad del plástico. La buena conductividad térmica en la pared de la cavidad es importante para el calentamiento y enfriado uniforme del material plástico. Sin embargo, por cuestiones prácticas, la diferencia en el tiempo total de ciclo es significativa para los materiales de cavidades comúnmente usados. Estas pequeñas diferencias son más importantes con moldes muy grandes que tengan paredes de cavidad excesivamente gruesas. Una situación ideal de moldeo sería aquella en la que cada detalle de la cavidad alcanzara la temperatura de fusión al mismo tiempo. Sin embargo ese objetivo deseable raramente se logra en la práctica. Es conveniente decir que pueden lograrse grandes reducciones en el tiempo del ciclo, mediante un cuidadoso diseño del molde para un buen manejo térmico y mayor facilidad de manipulación del molde, que simplemente escogiendo un material de alta conductividad térmica para la cavidad.

Los diseñadores de productos plásticos pueden mejorar enormemente su eficiencia del proceso de rotomoldeo manteniendo en mente el control de la temperatura de la cavidad hasta finalizar el diseño de una parte plástica

### 3.2.3.5. CALENTAMIENTO DEL MOLDE

El rotomoldeo es un proceso de calentamiento y enfriado del material plástico. Una parte crítica del proceso es aumentar la temperatura del material plástico lo suficiente para que las partículas individuales del polvo se fundan en una parte homogénea. De la misma manera el material plástico no debe calentarse a temperaturas que degraden térmicamente el material. Por esto es importante que todas las superficies internas de la cavidad lleguen y se mantengan a la temperatura apropiada durante la parte de calentamiento del ciclo. Un cambio de temperatura en el horno de ciclo a ciclo es tan baja que se aproxima a 6°C. Puede tener un efecto significativo en la calidad de la parte moldeada. Durante años, la industria ha usado muchos métodos diferentes de calentamiento de moldes, y entre estos se puede mencionar, flama abierta, electricidad, gas o aceite calentados, con aire caliente, radiación, radiación infrarroja, rocíos de sal líquida, aire caliente y vapor. La gran mayoría de las máquinas de rotomoldeo en uso hoy en día son operadas con aire forzado, calentando mediante combustión de gas propano, butano o gas natural. Estas fuentes de energía han demostrado ser lo mejor para lograr equilibrio entre costo, conveniencia, eficiencia de calor y facilidad de control. Mantener los sellos a muy altas temperaturas en la multiplicidad de uniones rotarias es siempre un gran problema.

Como resultado esta técnica de moldeo ha caído en desuso. Establecer la temperatura y tiempo óptimos del horno es obviamente una parte importante del proceso de rotomoldeo.

No hay dos plásticos que tengan la misma temperatura ideal de horno, ni si quiera dos polietilenos. La temperatura y el tiempo del horno, también se afectan por el tipo de molde que se está usando y el espesor de la pared de la parte que se está moldeando. Como resultado no hay un tiempo, y una temperatura del ciclo promediado para cada material plástico. Sin embargo se tiene que empezar con algún tiempo y la temperatura del horno antes de ir afinando el ciclo. Los siguientes tiempos y temperaturas son un buen punto de inicio, como se observa en la siguiente tabla.

Temperatura y tiempo de horneado		
Material	Temperatura en °C	Tiempo en minutos
<b>Polietileno</b>	288 a 370	10 a 25
<b>PVC</b>	260 a 370	5 a 10
<b>Nylon 6</b>	300 a 357	28
<b>Nylon 11</b>	280 a 299	7 a 20
<b>Nylon 12</b>	249 a 300	8 a 20
<b>Polycarbonato</b>	315 a 399	10 a 20

*- Relación de temperatura y tiempo empleado según el material utilizado-*

Todo el mundo siempre habla de temperatura de horno, pero debe recordarse que lo que importa es la temperatura de la superficie interna de la cavidad, por ser la que está en contacto con el plástico. Existe una diferencia entre temperatura de horno y temperatura de la cavidad, la temperatura de la cavidad rara vez alcanza la temperatura ambiente del horno. La rotación biaxial de los moldes y las altas temperaturas del horno siempre han dificultado determinar la temperatura real del material plástico, o al menos la de la cavidad, durante el ciclo de moldeo. Preparar el perfil de la temperatura del horno también permite al moldeador empezar el ciclo del horno a alta temperatura para disolver el material rápidamente y reducir la temperatura para dar al plástico el tiempo necesario para cubrir la cavidad. La temperatura puede incrementarse para acelerar la fusión final y el curado. Algunos estudios han indicado que el brazo, el molde, y el marco o estructura absorben tanto como el 36% de la energía que se introduce al horno. El lograr el perfil de la temperatura del horno se puede usar para reducir la energía que se aplica una vez que el brazo, el marco y la cavidad se han estabilizado. Entonces el calor se aplicara únicamente a la velocidad a la que el material plástico pueda absorberla.

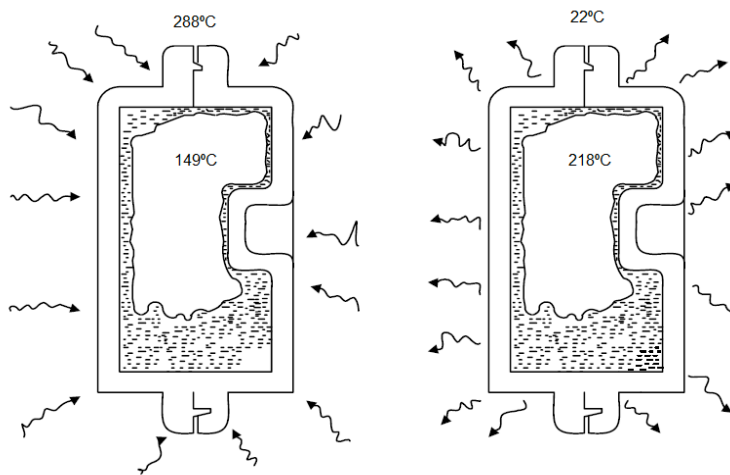
### 3.2.3.6. VENTILACIÓN DEL MOLDE

- **PRESIÓN EN EL INTERIOR DEL MOLDE**

El rotomoldeo es un proceso de calentamiento y enfriado. Calentar una sustancia provoca que se expanda; y enfriarla provoca que se contraiga. Calentar un molde de rotomoldeo en el horno, provoca que el molde, el material plástico y el aire en la cavidad se expandan.

Enfriar el molde provoca que el molde, el plástico y el aire en la cavidad se contraigan. Esto no sería un problema de no ser porque estos elementos se expanden y se contraen a

diferentes ritmos. El coeficiente de expansión térmica del molde metálico es pequeño. El plástico tiene aproximadamente 8 veces más de expansión y el aire se expande más que todos, las diferencias en expansión térmica entre la cavidad y el plástico provocan ciertas dificultades pero generalmente son ignoradas. Sin embargo la gran expansión térmica del aire atrapado en la cavidad provoca problemas que no pueden ser ignorados. Durante la primera parte del ciclo de calentado del horno, el molde, el polvo el plástico, y el aire en cada cavidad incrementan rápidamente su temperatura y se expanden. El aire se expande más que la cavidad, esto crea una presión positiva dentro de la cavidad. Esto crea una presión al momento en que la cavidad alcanza la temperatura de alrededor de 150 °C, el plástico se ha empezado a adherir a la cavidad. Esta situación se representa en la siguiente figura. Conforme el plástico se funde sella la pequeña abertura en la línea de separación de la cavidad.



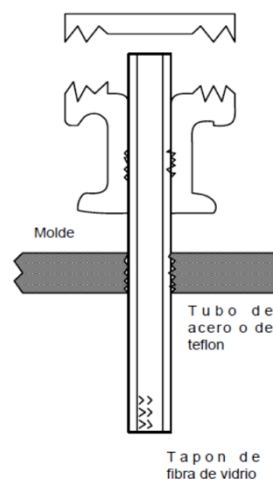
- Presión de aire en el interior del molde causada por la diferencia de temperaturas dentro y fuera del molde -

El aire es atrapado dentro de la cavidad y la delgada capa del material plástico, conforme el ciclo continua. La temperatura del aire se eleva más de 142°C del horno. Existe un incremento correspondiente en el volumen y presión del aire atrapado en la cavidad, y ese es un problema que no puede ser ignorado.

La alta presión del aire empuja el plástico fundido hacia la línea de separación, provocando rebaba en la misma. En algunos casos la presión del aire provoca un hoyo en el material. En casos extremos este aire bajo de presión puede distorsionar y dañar permanentemente las grandes secciones planas de la cavidad. Este aumento en la presión de aire, multiplicándolo por el área de sección de un molde grande, puede resultar en fuerzas realmente altas.

Estas fuerzas generalmente son liberadas por los pilares de resortes. Sin embargo los moldes grandes han llegado a explotar y las abrazaderas de sujeción se han roto por causa

de estas fuerzas. Conforme el molde del material plástico y el aire se contrae más. Esta presión negativa puede introducir aire a través de pequeñas aberturas de la línea de separación. Este aire puede provocar hoyos a través de la aun caliente y suave pared de la parte plástica. En otros casos, el aire que sale queda atrapado entre la cavidad y la parte moldeada. Esto provoca que la parte plástica sea separada prematuramente de la cavidad. Cuando esto sucede, el material plástico pierde contacto con la superficie de enfriamiento de la cavidad, y por consiguiente el ciclo de enfriado se vuelve anormal y muy largo. Con piezas de polietileno, la cristalinidad y el encogimiento de molde se incrementan y el abombamiento se convierte en un problema. Para divagar un momento, es en este punto donde la eficiencia del desmolde se convierte en parte importante. Un desmoldeante que libere muy fácilmente provocará que la parte moldeada se separe de la cavidad. El ejemplo que se observa en la siguiente figura muestra el mismo molde, sólo que en este caso se ha colocado un tubo de ventilación a la cavidad. Conforme el aire atrapado en la cavidad se expande, puede salir por el tubo de ventilación.



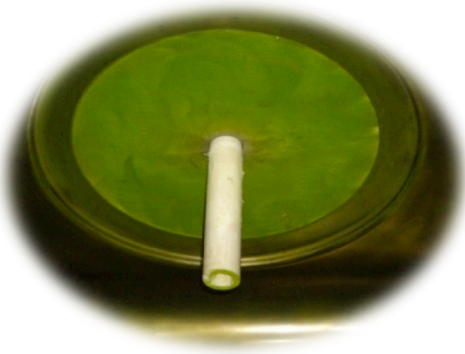
*- Efectos de la presión del aire en el tubo de ventilación -*

- **TUBO DE TEFLÓN**

Durante la etapa de enfriamiento en el ciclo de moldeo, el aire puede entrar a través del tubo de ventilación para liberar la presión negativa creada por el aire enfriado y contraído dentro de la cavidad. La ventilación adecuada de una cavidad permitirá que el enfriado y calentado de un material plástico suceda aproximadamente a presión atmosférica. El ventilado elimina los hoyos de soplado y la pérdida de contacto entre la cavidad y la parte moldeada. Los tubos de ventilación son generalmente hechos de paredes de teflón delgadas, de acero inoxidable con una capa horneada de teflón o de un desmoldante

altamente eficiente. Sería ideal que el tubo de ventilación fuera de material de baja conductividad térmica.

El extremo interno del tubo de ventilación debe colocarse cerca del centro de la cavidad, tan lejos del polvo como sea posible. Esta ubicación impide que el polvo entre en el tubo de ventilación. El extremo interno del tubo debe tener un embutido de vidrio para evitar que el polvo entre en él.



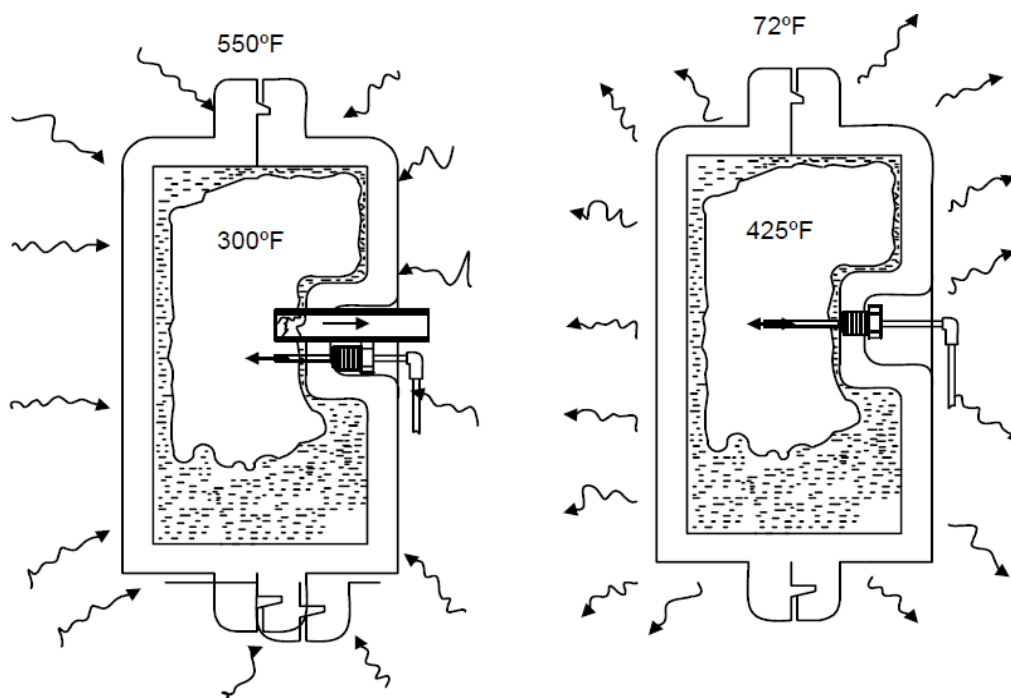
*- Tubo de teflón para la ventilación del molde -*



*- Vidrio para evitar la salida del material -*

- **INYECCIÓN DE GAS**

Esta no es una técnica nueva, pero su uso se está incrementando rápidamente. La inyección de gas se usa para reemplazar el oxígeno en el aire atrapado en la cavidad con un gas inerte, como el nitrógeno o el dióxido de carbono. Eliminar el oxígeno evita la oxidación del material plástico durante la porción de alta temperatura del ciclo de calentamiento del horno. El nylon 6 tendrá un mejor color, fuerza de impacto y apariencia general si se moldea en una atmósfera de nitrógeno libre de oxígeno. La fuerza de impacto de baja temperatura y decoloración del polietileno se mejorarán al moldear en una atmósfera libre de oxígeno. La habilidad para usar polietileno previamente moldeado, se incrementa al moldear en una atmósfera de nitrógeno. La inyección de gas también puede usarse para reducir abombamiento. Los dos tipos de inyección de gas se ilustran en la siguiente figura.

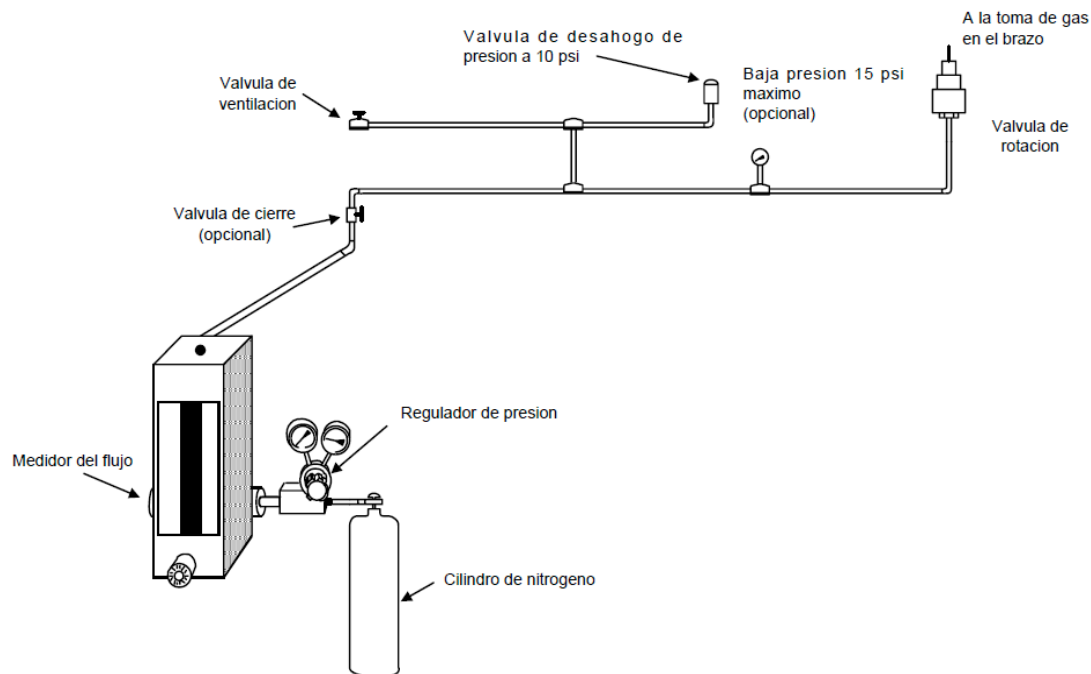


- Tipos de inyección de gas -

La figura del lado derecho muestra un arreglo de **“ventilación cerrada”**. En este caso, el gas puede inyectarse en la cavidad y el oxígeno saldrá de la misma por la línea de separación. Sin embargo, una vez que el polvo plástico se funde, la línea de separación se sella y no se pueden agregar nitrógeno adicional a la cavidad. Existen casos en que el tamaño y la forma de la cavidad no permite que todo el oxígeno sea evacuado a través de la línea de separación. Esta dificultad se puede solucionar colocando un puerto de ventilación y uno de inyección de gas en la cavidad. En este caso, el gas fluye hacia adentro y empuja el aire hacia fuera a través del tubo de ventilación. Esto se conoce como el sistema de **“ventilación abierta”**. En algunos casos se evita un segundo hoyo en la parte moldeada al colocar el puerto de inyección de gas dentro de un tubo grande de ventilación. Durante la etapa de enfriado del ciclo de moldeo, el aire atrapado en la parte moldeada se contrae. Los tiempos prolongados del ciclo de enfriado y la crecida tendencia al abombamiento creada por esa condición, pueden minimizarse al inyectar gas o aire en la parte moldeada. Este es un sistema de ventilación cerrado y el moldeador debe usar únicamente presión suficiente para mantener la parte plástica en contacto con la cavidad. Las altas presiones pueden generar hoyos en la pared de la parte moldeada o dañar el molde. Presiones tan bajas como de 2 o 3 psi (lbs/pulg<sup>2</sup>) pueden ser efectivas. No se necesitan altas presiones. Se requieren en cambio, controles de presión de gas confiables para asegurar que el molde no esté sobrepresurizado. Otra modificación de este proceso es usar un sistema abierto de ventilación para permitir que el aire frío circule por dentro de la parte moldeada, para acortar la etapa de enfriado del ciclo. La presión se mantiene en el molde al inyectar aire a la misma, o un poco menor a la tasa que el tubo de ventilación lo puede sacar. El equipo



necesario para la inyección de gas se ilustra en la siguiente figura. Contiene todos los controles necesarios para manejar el volumen de gas y la presión entre el cilindro de gas y el brazo de la máquina. Las máquinas modernas tienen todos estos controles incluidos en sus programas de controles automáticos.



- Equipo necesario para la inyección de gas -

Las ventajas de poder inyectar nitrógeno o aire, son que el costo del nitrógeno es reducido si se usa para purgar el oxígeno que está en el sistema. El aire de bajo costo se puede utilizar para mantener la parte contra la cavidad y para circular aire frío a través de la parte moldeada de rotomoldeo. Ofrecen sistemas de inyección de gas como opción en la compra.

### 3.2.3.7. RELACIÓN ENTRE ROTACIONES

Cada combinación individual de forma moldeada y material plástico tiene su propia tasa ideal de rotación de los ejes. Una canoa de polietileno es obviamente diferente de una pelota de plástico. Seleccionar las velocidades óptimas de rotación es crítico para la distribución uniforme del plástico sobre la superficie de la cavidad.

La relación de rotación se refiere a la relación entre la velocidad de rotación del eje mayor (o plano vertical) y la diferencia de velocidad de rotación entre el eje mayor y el eje menor (o plano horizontal). La relación de rotación se determina como sigue:

$$RR = VR_Y / (VR_N - VR_Y)$$

Donde:

RR = Relación de Rotación

VRV= Velocidad de rotación del eje mayor (en rpm)

VRN = Velocidad de rotación del eje menor en (rpm)

Si la velocidad de rotación del eje mayor es la mitad de la rpm de la rotación del eje menor, la tasa es uno a uno. Por ejemplo, si el eje mayor rota a 5 rpm y el eje menor a 10, la relación de rotación será de  $5/(10-5) = 1$  y se reporta 1:1. La flecha de montaje de moldeo en el eje menor (plano horizontal) gira, por consiguiente, una vez por cada rotación de mayor (plano vertical). Esta no es una relación recomendada. Conforme la velocidad del eje mayor se acerca a la del eje menor, la relación aumenta. Por ejemplo, el eje mayor gira a 8 rpm, y el eje menor lo variamos de 10 a 8 rpm, la relación de rotación crecerá como lo muestra la tabla de abajo.

Al acercarse los valores de las velocidades de rotación, la relación crece hasta llegar a un valor infinito donde el molde no gira. Para lograr la rotación en reversa, disminuya la r.p.m del eje menor hasta muy cerca del valor del eje mayor. Al llegar a un valor infinito de la relación de rotación, la rotación relativa se detiene. Si el eje menor se reduce a una velocidad más baja que la del eje mayor, se logra la rotación en reversa, por ejemplo, el eje mayor gira a 8 r.p.m y el menor a 6 r.p.m, se tiene una relación negativa de 4:1. En una relación negativa, el giro sobre el eje menor es en dirección opuesta. Con relaciones negativas se tiende a dirigir el flujo del material en polvo más hacia el plano horizontal y provocando un llenado más pobre en moldes complicados.

La relación de rotación ideal se determinará por:

- a. El tamaño de la parte moldeada
- b. La forma de la parte moldeada
- c. El número de cavidades montados en el marco
- d. Si se usa brazo recto o en escuadra
- e. La distancia de cada cavidad desde el centro de rotación real

Generalmente las partes formadas simétricamente con su dimensión más larga montada paralelamente al eje mayor usarán una relación de rotación con el eje mayor girando más rápido y el eje menor más lento: por ejemplo, 4:1 al expresar una relación de rotación, el primer número normalmente se refiere a la rotación del eje mayor. Si la dimensión larga de una cavidad de forma de caja, delgada y larga grande se monta en un ángulo correcto al eje mayor, se puede necesitar una relación inversa, como 1:4. La relación de rotación se expresa generalmente en números completos, como 4:1 u 8:1. Sin embargo las relaciones donde al dividir un numero entre otro nos de un número entero, no son deseables. Relaciones de este tipo permiten que ciertas partes de la cavidad repitan su contacto con el plástico mucho más frecuentemente que otras. Esto puede resultar en un espesor de pared no uniforme. En el análisis final la relación de rotación normalmente se establece por ensayo y error.

Relación de rotación para formas típicas				
Flecha interna mayor	Flecha externa menor	Formas	Velocidad típica para PE (rpm)	
Relación de rotación			Eje mayor	Eje menor
8:1		Formas curvadas y tubos rectos montados en horizontal	8	9
4:5		Pelotas y globos esféricos	5	6
4:0.1		Cubos, pelotas, formas abstractas.	8	9,75
2:1		Anillos, llantas, pelotas, maniqués, formas redondas planas	6	9
			8	12
			10	15
			12	18
1:2		Igual que el anterior pero con paredes más finas.	5	15
			7	21
1:3		Cubiertas Rectángulos planos (tanques de gas, maletas, cubiertas de contenedores)	4	15
			6	22.5
			9,5	36
1:4		Llantas, tubos curvos, cilindros montados verticalmente	4	20
			5	25
			6	30
1:5		Cilindros montados verticalmente	4	24

La velocidad de rotación es otra consideración importante. La velocidad se refiere al número de giros (rpm) que nos dan los ejes mayores y menores, existe el sentimiento general de que es posible acortar el ciclo de moldeo al rotar más rápido los moldes lo cual es una creencia falsa. La cantidad de polvo plástico que se adhiere a una pared de la cavidad se determina por cierto tiempo. Cuando está la cavidad en contacto con el material plástico, el tiempo de residencia del polvo plástico en contacto con la superficie caliente de la cavidad, debe ser relativamente más largo para una pequeña caja cuadrada que este rotando a 8 rpm que la de un Kayac girando a las mismas 8rpm. Este tendría un tiempo de residencia mucho más corto.

Una velocidad de rotación lenta es especialmente recomendable para partes plásticas con una proporción largo/ancho grande. Usando una velocidad de rotación alta, un kayak pueda crear suficiente fuerza centrífuga para arrojar el polvo plástico a los más alejados

extremos de la cavidad. Aún un molde pequeño montado en el borde externo de una estructura grande tendrá un desempeño diferente de una cavidad similar montada cerca del centro de la estructura.

Los efectos de fuerza centrífuga empiezan a ser obvios a velocidades de rotación mayores de las 12 r.p.m. Es interesante hacer notar que es posible tener la misma relación de rotación. La relación común de 4:1 se puede lograr con una velocidad del eje menor de 12 r.p.m o con una velocidad del eje mayor de 12 r.p.m y una velocidad del eje menor a 15 r.p.m. Estas dos condiciones de moldeo producen resultados muy diferentes, especialmente con partes grandes. El número de combinaciones posibles para la relación de rotación es muy extensa.

La relación de rotación y la velocidad de rotación son dos variables importantes en rotomoldeo que tienen efecto significativo, tanto en la calidad como en la eficiencia del proceso de rotomoldeo, una muy cuidadosa atención a estos dos detalles ayudara a optimizar el proceso de rotomoldeo.

#### **3.2.3.8. MANTENIMIENTO DEL MOLDE**

Los moldes requeridos para el proceso de rotomoldeo son caros, lentos en su construcción y vitales para la consistente producción de partes moldeadas de buena calidad. La naturaleza del proceso de rotomoldeo es tal que estos moldes están sujetos a mucho abuso. Los moldes son continuamente calentados y enfriados, rociados con agua y agredidos con todo tipo de herramientas y sustancias corrosivas. Muchos moldes son grandes y pesados, y se dañan al usarlos de manera normal y al moverlos de un lugar a otro. Mantener estos moldes en buenas condiciones de trabajo es parte importante del proceso completo. También se debe recordar que el molde puede ser propiedad del cliente, en este caso el moldeador tiene una responsabilidad legal implícita y debe cuidar perfectamente el molde de su cliente. El secreto de un buen programa de mantenimiento de moldes es tener un programa formal. El mantenimiento del molde es algo que no se debe hacer casualmente cuando se dispone de tiempo. Cada tipo diferente requiere un programa diferente de mantenimiento, los moldes de acero se oxidan, los de níquel, no. Un molde de acero con el que se fabriquen piezas de polietileno necesita atención diferente que un molde de acero con el que se fabriquen piezas de PVC. Algunas compañías cometen serios errores al tener únicamente un programa preventivo de mantenimiento que se aplica a todos los moldes igual. Un buen programa de mantenimiento de moldes incluye registro para cada molde individualmente. El tiempo dedicado a mantenimiento del molde también se puede incluir como parte de estos registros. Esto permite al moldeador determinar cuándo el costo de mantenimiento de un molde deja de justificarse. Un buen programa de mantenimiento debe incluir también un inventario, incluyendo tuercas, tornillos, pinzas, abrazaderas, mordazas, resortes, etc.

Las líneas de separación de los moldes siempre se deben considerar en el programa de mantenimiento. Estas superficies de la cavidad están expuestas a posibles daños en cada ciclo de operación del molde. Mantener un adecuado alineamiento y un buen sello en las líneas de separación es muy importante. La mayoría de los moldeadores tienen procedimientos para mantener las líneas de separación limpias y reparadas. Una vez por turno, día o al final de una serie es buen momento para revisar la siguiente lista parcial de detalles que se tienen en consideración. Lo que necesite reparación o reemplazo llevará tiempo y no se dispondrá de este justo antes de empezar la siguiente corrida revisión:

- a. Tornillos y tuercas desgastados o dañados.
- b. Resortes rotos
- c. Conexiones roscadas sueltas
- d. Pinzas, abrazaderas o mordazas rotas o desajustadas
- e. Tubos de ventilación obstruidos o dañados
- f. Sujetadores de insertos sueltos, sistema de cierre y partes de la cavidad.
- g. Líneas de separación limpias y en condiciones de trabajo
- h. Desmoldeante acumulado en exceso, en algunos lugares clave de la cavidad.
- i. Placa de montaje desgastada o con soldaduras rotas o agrietadas.

Si el molde es susceptible a corrosión puede necesitar limpieza y una capa de preservativo antes de guardarlo en el almacén. Las cavidades de níquel y aluminio no se corroen. Sin embargo, el marco de acero, las tuercas y los tornillos, las abrazaderas y otras partes del molde como los sujetadores de insertos o las áreas altamente pulidas pueden dañarse o destruirse por moho o ataque químico, los moldes deben de guardarse ensamblados con las líneas de separación protegidas con tiras de madera. Esto permite que el molde respire conforme. Almacenar las dos mitades del molde desensamblado es un grave riesgo por daños a las delicadas líneas de separación y a la superficie interna de las cavidades. Cada molde, cada material plástico y cada diseño de parte diferente. Como resultado, cada combinación individual de material, diseño y molde requieren su propia lista de procedimientos de mantenimientos preventivo de moldes.

### **3.2.3.9. DESMOLDEANTES**

A la superficie interior del molde se le aplica una capa de cera para que la pieza desmoldee mejor y se produzcan menos defectos superficiales. Para ello se calienta el molde a 50-80 °C para que la cera agarre mejor.

Después existen aerosoles de silicona que sirven para facilitar el desmoldeo y para que fluya bien el material sobre la superficie interior del molde.

### **3.2.3.10. ENFRIAMIENTO DEL MOLDE**

- **ENFRIAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE**

Este sistema consiste en dejar rotar el molde en temperatura ambiente. Es decir que la temperatura ambiente en dicho lugar es que determina, la condición del enfriado, sin tomar ningún sistema externo (aire acondicionado).

- **ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO**

Este sistema se logra soplando aire de la sala de trabajo sobre el molde mediante un ventilador, o soplador, grande. Si se usa un ventilador, este debe estar montado en una posición fija. Los ventiladores portátiles se mueven y causan diferente rapidez de enfriado de una parte a la otra. Si en el transcurso del año se tiene grandes diferencias de temperatura y humedad del aire en la sala de trabajo, también se tendrán grandes diferencias en la rapidez de enfriado de la pieza. Esto es, el ciclo de enfriado cambiara dependiendo de las condiciones ambientales. Es importante tomar en consideración que el molde se enfría 20 veces mas rápido con soplado forzado de aire ambiental que con el mismo aire ambiental estático.

- **ENFRIAMIENTO POR AGUA ROCIADA CON ATOMIZADOR**

Este es un sistema simple, ya que el método consiste en rociar el molde con aire y microgotas de agua. Dicho método de enfriado se considera muy eficiente, ya que es uniforme y suave en el uso.

- **ENFRIAMIENTO POR CHORRO DE AGUA**

Este ultimo sistema consiste en aplicar un chorro a toda presión de agua al molde. Este es el tipo más rápido y poderoso de enfriamiento y se usa raramente. La temperatura del

agua que se use para enfriar el molde influye drásticamente en la rapidez y la uniformidad de enfriado del mismo, independientemente del método de enfriamiento con agua que se escoja. Contra más fría sea la temperatura del chorro de agua, más rápido será el enfriado. Aunque el costo en este sistema se incrementa, pero la eficiencia en la producción es alta.

### **3.2.3.11. FABRICACIÓN POR ROTOMOLDEO DE LA LÁMPARA**

El material más utilizado en rotomoldeo es el polietileno, tenemos tres tipos de PE: HDPE (Polietileno de alta densidad), LDPE (Polietileno de baja densidad) y LLDPE (Polietileno de baja densidad lineal).

También existen otros materiales que se pueden rotomoldear como por ejemplo termoplásticos: PVC, NYLON, PP...y termoestables:PU.

El estado del material cuando se carga en el molde puede ser:

- POLVO o GRANULADO
- LÍQUIDO

En la empresa Rotoformas el material siempre se compra en granza y después se microniza, para ello se utiliza una micronizadora, que se compone de una parte con cuchillas que convierte los gránulos en polvo, y después este polvo pasa por un tamiz o filtro, para retener las partículas que no sean válidas.



- Pulverizadora o micronizadora -



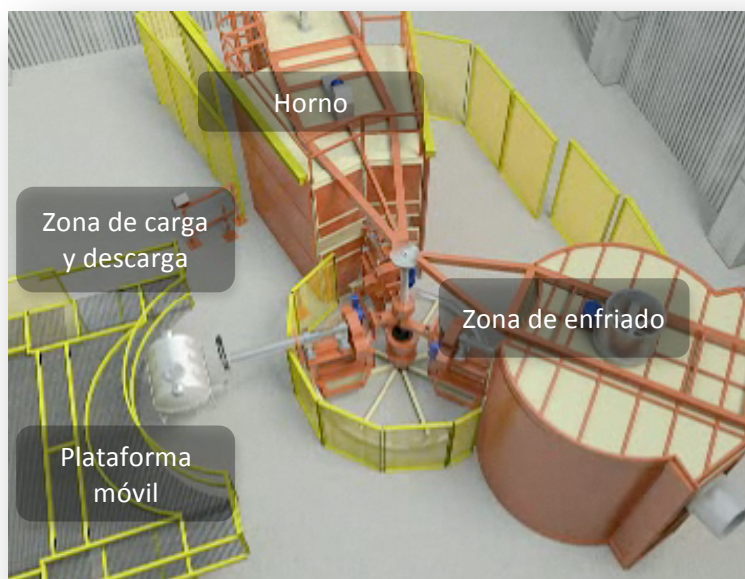
Después en la mezcladora se introduce el material en polvo (que hemos obtenido en la micronizadora) y el tinte, así obtenemos el material que introduciremos en el molde para obtener la pieza.



- Mezcladora -

En la empresa Rotoformas, las cantidades de material en polvo a introducir en el molde se hace a través de la experiencia, no utilizan ningún tipo de fórmula, sino que introducen unas cantidades de material y según los resultados obtenidos varían esas cantidades.

La máquina rotomoldeadora se trata de una máquina de tipo carrusel.



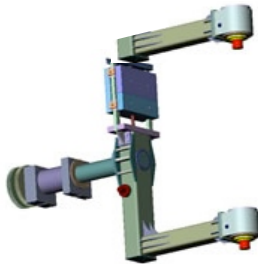
- Máquina de rotomoldeo tipo carrusel -

Pueden tener diversos tipos de brazos:

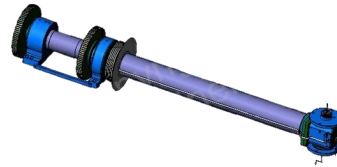
4. Brazos acodados
5. Brazos en C
6. Brazos rectos



- Brazo acodado -



- Brazo en C -



- Brazo recto -

En el brazo va montado el plato portamoldes, que es la parte en la que se amarra el molde a la máquina de rotomoldeo. Un plato portamoldes puede portar varios moldes, y es muy importante dejarlo compensado, es decir, la distribución del peso de los moldes en el plato portamoldes debe ser uniforme.

Hay un tipo de plato portamoldes llamado parrilla, que tiene forma circular, y sirve para montar muchos moldes cuando estos son pequeños.



- Plato portamoldes tipo parrilla -

Una vez que tenemos el molde montado en el plato se vierte la cantidad de material necesaria. El material puede ser completamente nuevo o reutilizado, el reutilizado normalmente cuando se vuelve a utilizar se mezcla con una cantidad de material nuevo, para que la pieza final no pierda resistencia, ya que las propiedades del material se pierden conforme se va reutilizando.

La reutilización del material consiste en convertir en polvo piezas que han salido defectuosas. Para ello se introducen las piezas en un molino, que esta compuesto por una serie de cuchillas que rompe las piezas grandes en trozos más pequeños.



*- Molino para desmenuzar las piezas que no son útiles en trozos -*

Después estos trozos se llevan al micronizador para convertir el material en polvo.



*- Micronizadora -*

Una vez que tenemos el material preparado (PE en polvo + colorante), se introduce en el molde y se cierra para proceder a programar la máquina.

La máquina de rotomoldeo posee un sistema informático mediante el cual la podemos controlar: podemos mover la plataforma, encender la máquina pararla, y controlar una gran diversidad de parámetros, de los cuales los más importantes son:

- **La relación de rotación entre los dos ejes** ( medido en revoluciones por minuto).
- **El tiempo**, Si es la primera vez que enchufamos la máquina, el primer tiempo de fabricación de la máquina será mayor, ya que el horno no está caliente todavía.

La temperatura del horno se programa en 3 tiempos- 3 temperaturas, de manera que conforme va aumentando el tiempo, aumenta la temperatura en el molde.

- **La temperatura**



- Computadora rotomoldeo -

Después de completar el ciclo de fabricación en la máquina de rotomoldeo, se hincha la pieza con aire a presión. Esto se realiza para evitar que la pieza se abombe, ya que cuando se extrae del molde todavía está muy caliente y al enfriarse se puede contraer.

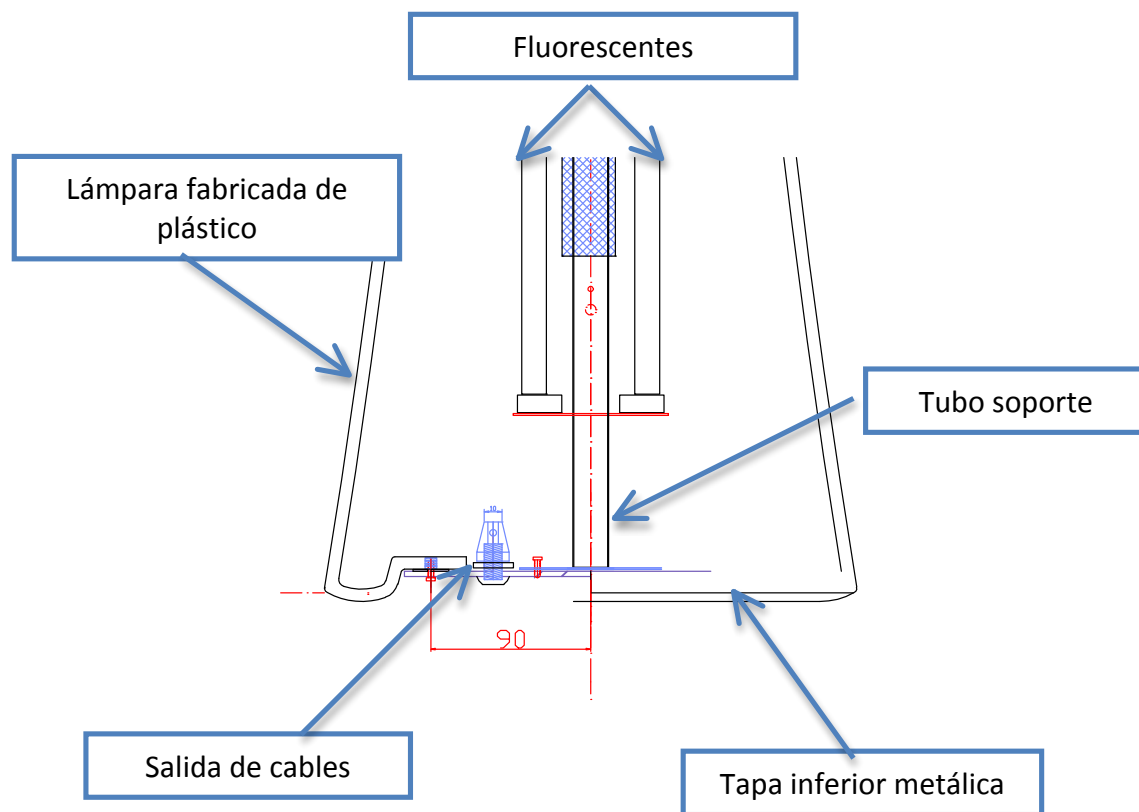
Todas las máquinas necesitan una manutención, en rotoformas las máquinas de rotomoldeo cada 300 horas de trabajo se engrasan.

### 3.2.4. MONTAJE FINAL DEL CONJUNTO DE LA LÁMPARA

Una vez que tenemos la pieza de plástico moldeada se procede al montaje eléctrico y mecánico con los demás elementos que forman el conjunto .

Para ello además de la pieza plástica fabricada por rotomoldeo, se emplean:

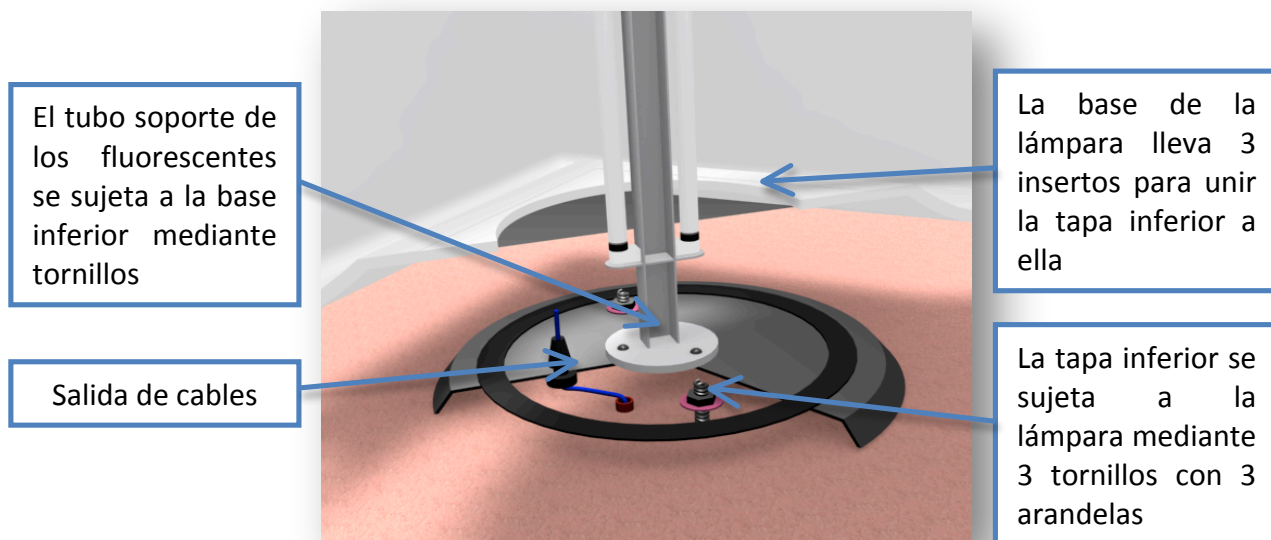
- ✓ Dos fluorescentes, que irán alojados en el interior de la lámpara.
- ✓ Un tubo central que sirva de soporte en el interior a los fluorescentes.
- ✓ Una tapa inferior que cierre en conjunto y sirva de soporte al tubo central.



*-Elementos que componen la lámpara-*

Para unir todos estos elementos que conforman la lámpara se han empleado elementos de unión como tornillos, arandelas e insertos.

El tubo soporte va atornillado a la tapa inferior, y la tapa inferior va atornillada a la lámpara plástica, para ello se han dispuesto en la lámpara tres insertos.



*-Elementos de unión utilizados en el montaje de la lámpara-*

Un vez montada y empaquetada la lámpara ya esta lista para ser vendida.



## 4. CONCLUSIONES

Este proyecto me ha permitido conocer un caso real sobre la fabricación de un objeto por rotomoldeo y tener contacto con la empresa Rotoformas que se dedica a ello.

Sobre el proceso de rotomoldeo no tenía ningún conocimiento previo, por lo tanto este proyecto me ha servido para conocer un proceso de fabricación que sabía de su existencia pero desconocía su funcionamiento.

Los conocimientos plasmados en la memoria provienen de la investigación y búsqueda de información que se ha realizado sobre el proceso, y de la experiencia real de los trabajadores de la fábrica Rotoformas, por lo tanto podríamos decir que existen dos fuentes distintas de información, una más teórica y otra más práctica.

Durante las visitas a la empresa se ha observado que la mayoría de las acciones se realizan por la experiencia, no siguen ninguna fórmula ni teoría. Por ejemplo, cada vez que se fábrica una pieza con una geometría diferente, es necesario ajustar los parámetros de la máquina para esa pieza en especial. En Rotoformas los valores de los parámetros se introducen por la experiencia, es decir, van variando estos valores hasta que la pieza no sale defectuosa. Existen fórmulas y tablas orientativas que nos pueden dar una idea de los valores que han de tener los parámetros, pero que sin embargo en la fábrica no se utilizan.

Por lo tanto, lo que he observado es que los datos científicos muchas veces nos pueden ayudar y orientar si desconocemos el proceso, pero que a la hora de la verdad los resultados y experiencias que se obtienen en la práctica del día a día es el criterio que se suele seguir para decidir que cantidad de material introducir o que tiempo y revoluciones ha de tener la máquina.

Todo esto está muy bien porque los resultados nos marcan la forma de hacer las cosas, pero si se adopta esta forma de trabajo las pérdidas pueden ser grandes, ya que cada tirada de piezas defectuosas se traduce en material y energía desperdiciados, y por lo tanto en pérdida de dinero.

Por todo ello, se podría realizar un estudio que ayudara a gestionar de forma más eficiente los procesos de la fábrica.





# Unidad didáctica

## 5. UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE EL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA LUMINARIA POR ROTOMOLDEO

El propósito final de este proyecto una vez recopilada toda la información sobre rotomoldeo, es hacer conocer a todas las personas que estén interesadas en este proceso algunos aspectos básicos y fundamentales sobre todos los pasos que hay que seguir para poder obtener una pieza por rotomoldeo. Y que mejor manera de conseguir esto que mediante un caso real. Para ello me puse en contacto Héctor Alonso ( Diseñador de lámparas) que había diseñado una lámpara mediante este proceso de fabricación en la empresa Rotoformas. De manera que con los conocimientos adquiridos mediante la investigación y la documentación y con los conocimientos adquiridos con las visitas a la empresa rotoformas, he realizado este proyecto donde se plasma todo el proceso.

La unidad didáctica consiste en presentar una parte de este proyecto resumida para que pueda ser usada en la enseñanza a modo de presentación interactiva en la que podemos pasar de unas pantallas a otras sin la necesidad de tener que ver toda la información, solo la que nos interese.

En cuanto a los usuarios de esta unidad, podemos encontrar dos perfiles diferentes:

- ✓ Personas que desconocen el proceso de rotomoldeo y que les toca trabajar con esta técnica por primera vez.
- ✓ Profesores que deseen impartir una clase sobre este método de fabricación.

Algunas de las carreras universitarias en las que puede ser impartido este material son:

- ✓ Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto.
- ✓ Ingeniería mecánica
- ✓ Arquitectura

Algunas de las asignaturas en las que se puede impartir esta información son:

- ✓ Diseño y desarrollo de piezas de plástico
- ✓ Procesos de fabricación

El tiempo de la presentación puede variar dependiendo si la hacemos completa o sólo aquella parte en la que estemos interesados.

- ✓ La **presentación completa** constaría de una introducción al proceso de fabricación de rotomoldeo para después seguir con el caso real de fabricación de una luminaria. El tiempo estimado de duración es de 3h.
- ✓ La **presentación sencilla** puede ser de dos maneras:

- Presentación en la que únicamente se muestre en que consiste el rotomoldeo, sin llegar al caso práctico.

El tiempo estimado de duración es 1.30h.

- Presentación en la que ya se sepan los aspectos básicos sobre el rotomoldeo y únicamente se quiera mostrar el caso práctico real del diseño de la luminaria.

El tiempo estimado de duración es 1:30h.



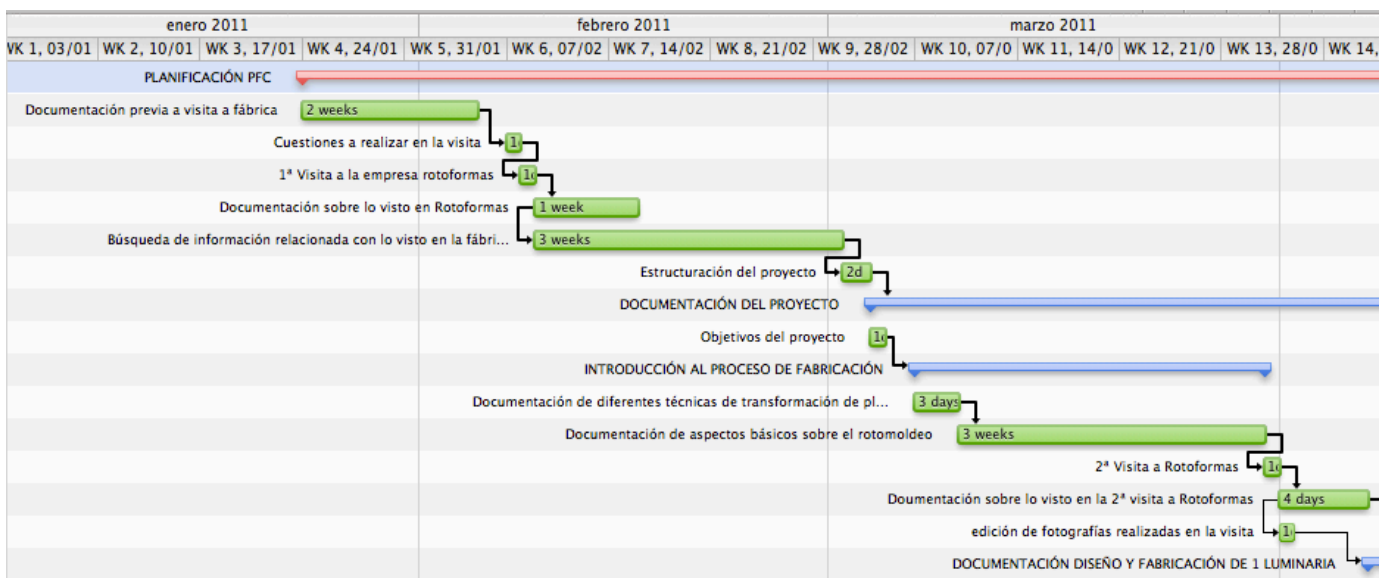
# Planificación

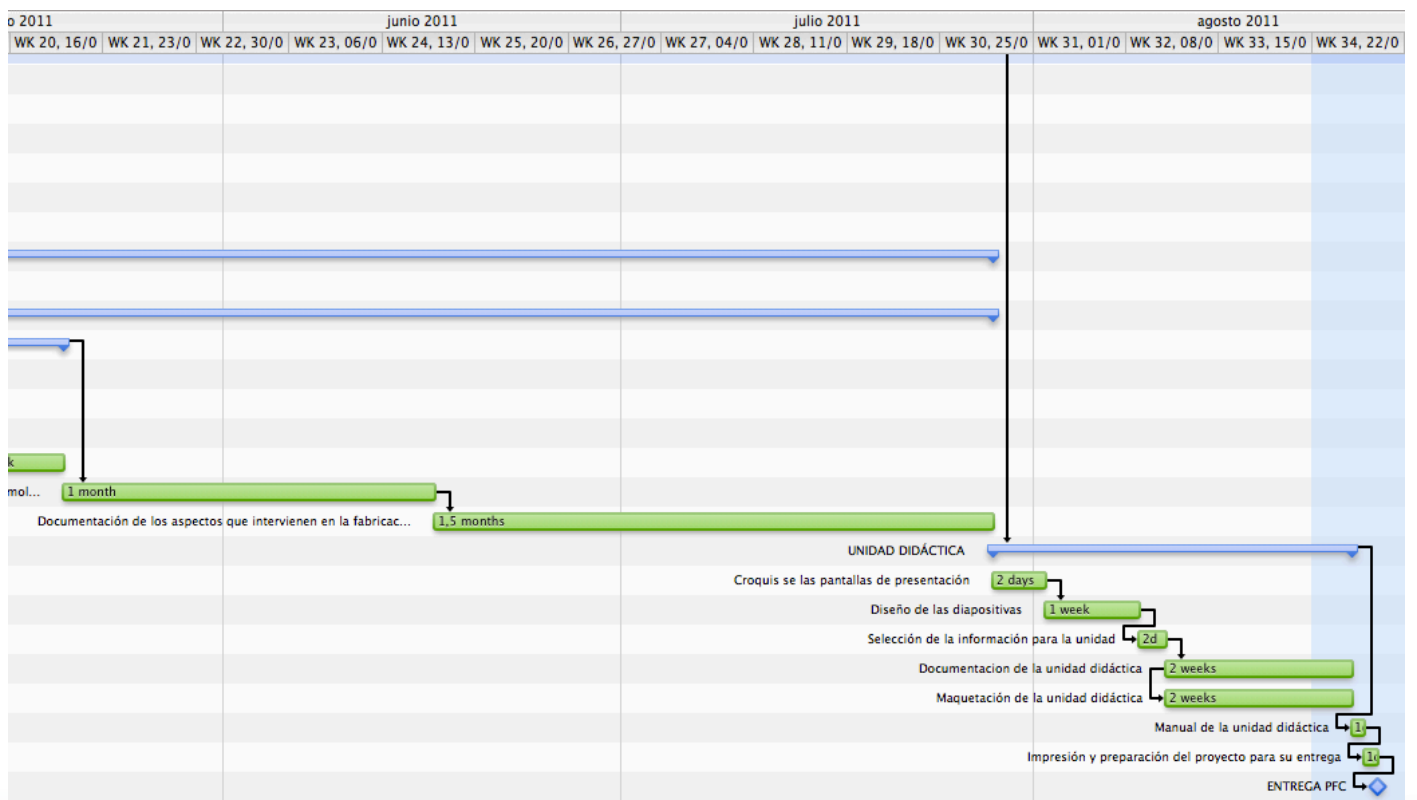
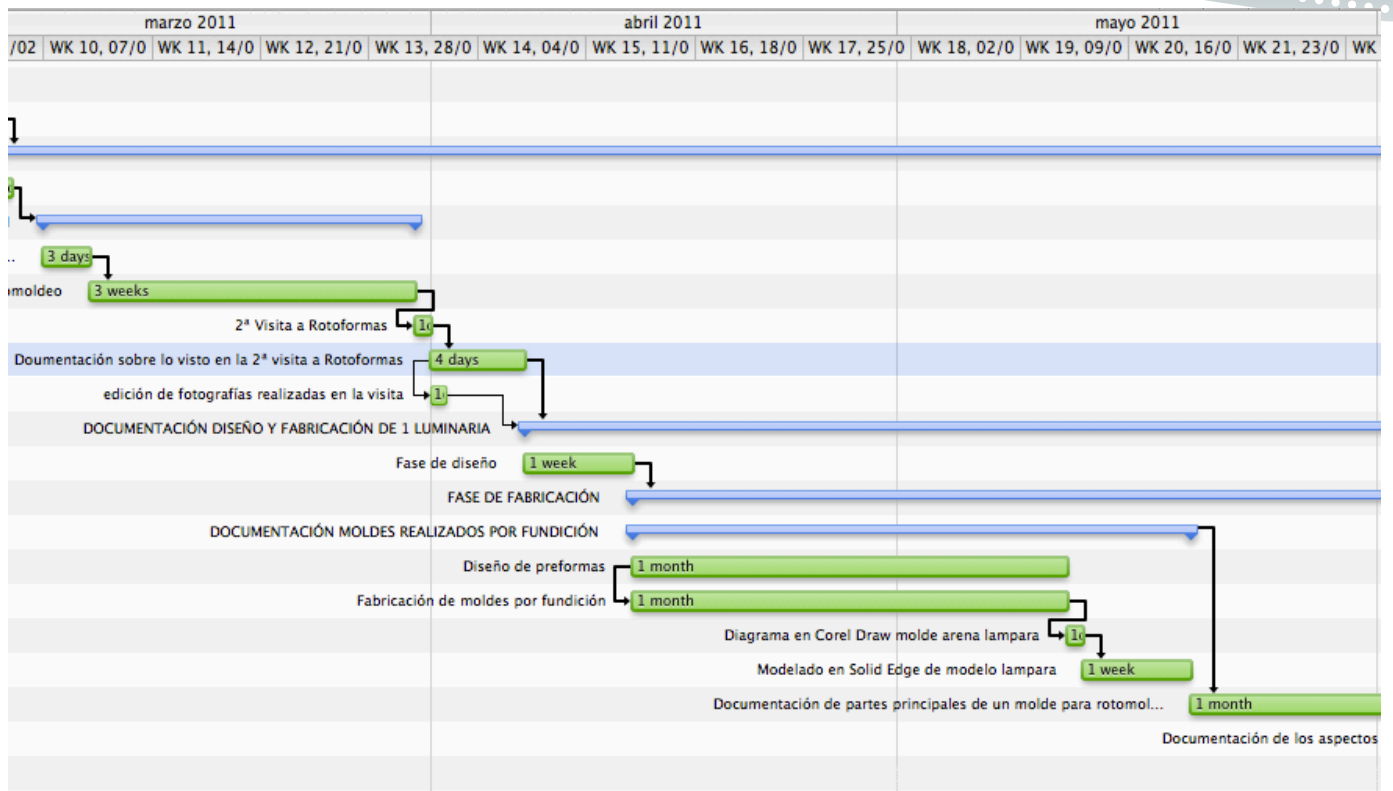
- **PLANIFICACIÓN**

A lo largo de todo el proyecto se ha llevado a cabo una planificación para cumplir el propósito principal: entregar a tiempo el proyecto fin de carrera.

Para ello se ha utilizado el programa Merlin ( Programa de gestión de proyectos), y se ha asignado a cada tarea una duración en días o semanas, teniendo en cuenta que a cada día se le dedica 2:30 horas de trabajo.

El diagrama de Gantt que aparece en el inferior muestra el progreso y relación de todas las tareas realizadas desde el 24 de Enero hasta el 26 de Agosto.





## • **BIBLIOGRAFÍA**

### **Páginas web:**

- <http://www.rotomachinerygroup.com/>
- [http://modeleriaind2008.blogspot.com/2008\\_10\\_01\\_archive.html](http://modeleriaind2008.blogspot.com/2008_10_01_archive.html)
- <http://www.geocities.com/usmindustrial/Fundicion.htm>
- [http://html.rincondelvago.com/fundicion\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/fundicion_2.html)
- [http://html.rincondelvago.com/procesos-de-fabricacion\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/procesos-de-fabricacion_1.html)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo\\_en\\_arena\\_verde](http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_en_arena_verde)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Fundición>
- <http://www.sabelotodo.org/metalurgia/moldeo.html>
- <http://iq.ua.es/TPO/Tema3.pdf>
- [http://www.polinter.com.ve/publicaciones/boletines/disenio\\_para\\_rotomoldeo\\_con\\_pe.pdf](http://www.polinter.com.ve/publicaciones/boletines/disenio_para_rotomoldeo_con_pe.pdf)
- <http://www.moviplas.com.mx/esp/index.html>
- <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-22.pdf>
- [http://www.avipla.org/uploads/ponencias/ROTOMOLDEOCarlos\\_Garcia.pdf](http://www.avipla.org/uploads/ponencias/ROTOMOLDEOCarlos_Garcia.pdf)

### **Revistas:**

- Revista Tecnología del Plástico ( Suplementos especiales de rotomoldeo)





